

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра інтегрованих технологій машинобудування

«На правах рукопису»
УДК 621.91

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ В.А. Пасічник
(підпис)
“ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування (інженерний дизайн)
(код і назва)

на тему: Дизайн та конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення
економічного міського електромобіля «ZEUS»
(комплексна магістерська дисертація)

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи МІ-72мп
(шифр групи)

_____ Кривич Павло Павлович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник Зав. кафедри, д.т.н., професор, Пасічник В.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра інтегрованих технологій машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування (інженерний дизайн)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.А. Пасічник
(підпис)

«__» _____ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Кривич Павло Павлович
(прізвище, ім'я, по батькові)**

1. Тема дисертації на тему: Дизайн та конструкторсько-технологічне
забезпечення виготовлення економічного міського електромобіля «ZEUS»
. (комплексна магістерська дисертація) .

науковий керівник дисертації Пасічник В.А., д.т.н. професор _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Процес пошуку дизайну і конструкторсько-технологічного рішення для економічного міського електромобіля

4. Предмет дослідження Основи аеродинаміки електромобіля, проектування силової конструкції та забезпечення по виготовленню.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити На основі аналізу ринку й наявних технічних рішень міського електромобіля розробити нове концептуальне рішення форми кузова; на основі аналізу ринку й наявних технічних рішень міського електромобіля спроектувати нову силову конструкцію; створити й дослідити макет прототипу нового міського електромобіля; підготувати пропозицію стартап-проекту для ринку електротранспорту.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Виготовлення двох
макетів в масштабі 1:10, підготовка презентації. _____

7. Орієнтовний перелік публікацій Теза доповіді на науковій конференції за
темою дослідження. _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 1.09.2017 р. _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Сучасний стан та перспективи розвитку	1.10.2017	
2	Теоретичне обґрунтування та розрахунки проектних параметрів	1.01.2018	
3	Технологічне забезпечення виготовлення макету “ZEUS”	1.04.2018	
4	Розроблення стартап-проекту	1.08.2018	
5	Підготовка презентації, оформлення роботи	10.12.2018	

Студент

(підпис)

П.П. Кривич
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

В.А. Пасічник
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

АННОТАЦІЯ

Кривич П.П. Дизайн та конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення економічного міського електромобіля “ZEUS” (комплексна магістерська дисертація)

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування (інженерний дизайн). Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ, 2018.

На основі дослідження стану розробок у автомобільній галузі, визначено, що в розвинутих країнах, а особливо у великих містах та мегаполісах набуває популярності електричний транспорт, в тому числі автомобілі. Такі технології вже доступні у більшості країн широкому загалу людей з середніми та високим рівнем достатку.

В процесі роботи було проаналізовано та спроектовано силову конструкцію автомобіля та його кузов. Для підтвердження доцільності спроектованих параметрів, було проведено комп’ютерну симуляцію рами, та аеродинамічну симуляцію кузова.

Виготовлений у масштабі 1:10 макет автомобіля пройшов дослідження у аеродинамічній трубі.

Ключові слова. інженерний дизайн; проектування; аеродинаміка кузова; силова конструкція; міський електромобіль; екологічний транспорт.

АННОТАЦИЯ

Кривич П.П. Дизайн и конструкторско-технологическое обеспечение изготовления экономического городского электромобиля "ZEUS" (комплексная магистерская диссертация)

Диссертация на соискание ученой степени магистра по специальности 133 - Отраслевое машиностроение (инженерный дизайн). Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского». - Киев, 2018.

На основе исследования состояния разработок в автомобильной отрасли, определено, что в развитых странах, особенно в больших городах и мегаполисах приобретает популярность электрический транспорт, в том числе автомобили. Такие технологии уже доступны в большинстве стран широкому кругу людей со средними и высоким уровнем достатка.

В процессе работы была проанализирована и спроектирована силовая конструкция автомобиля и его кузов. Для подтверждения целесообразности спроектированных параметров, была проведена компьютерная симуляция рамы, и аэродинамическая симуляция кузова.

Изготовлен в масштабе 1:10 макет автомобиля прошел исследования в аэродинамической трубе.

Ключевые слова. инженерный дизайн; проектирование; аэродинамика кузова; силовая конструкция; городской электромобиль; экологический транспорт.

ANNOTATION

Kryvych P.P. Design and construct-technological support for the production of the economic urban electric vehicle "ZEUS" (integrated master's dissertation)

Thesis for a Master's degree in specialty 133 - Sectoral engineering (engineering design). National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". - Kyiv, 2018.

Based on research on the state of development in the automotive industry, it has been determined that electric vehicles, including cars, are becoming popular in developed countries, and especially in large cities and metropolises. Such technologies are already available in the majority of countries to a wider range of people with middle and high levels of prosperity.

During the work, the power structure of the car and its body was analyzed and designed. To confirm the feasibility of the designed parameters, a computer simulation of the frame and aerodynamic body simulation was performed,.

Made on a 1:10 scale, the car layout was tested in an aerodynamic tube.

Keywords. engineering design; designing; aerodynamics of the body; power structure; urban electric car; ecological transport.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Дизайн та конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення економічного міського електромобіля «ZEUS», містить 98 сторінки пояснювальної записки, рисунків – 52, таблиць – 35, використаних джерел – 38, ілюстрації, що включає 12 слайди презентації графічної частини, 2 макети.

Актуальність теми

Сучасні розробки та наукові праці у автомобілебудуванні дозволяють сьогодні створювати робочі зразки машин, спрямовані на розробку найбільш економічних двигунів та заміну традиційних джерел енергії на більш економічні альтернативні. Актуальною є проблема екологічного та водночас заощадливого транспорту, створеного з легких та надійних матеріалів, на базі державних виробництв. Пошук найвигіднішого джерела енергії та методи його використання залишаються проблемами в області як державного так і світового автомобільного виробництва.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Магістерська дисертація виконана на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у відповідності з тематичним планом науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України.

Мета дослідження. Створити проект інтегрованого у міські умови автомобіля, з покращеними економічними, екологічними, та ергономічними показниками.

Задачі дослідження:

1. На основі аналізу ринку й наявних технічних рішень міського електромобіля розробити нове концептуальне рішення форми кузова.
2. На основі аналізу ринку й наявних технічних рішень міського електромобіля спроектувати нову силову конструкцію.

3. Створити й дослідити макет прототипу нового міського електромобіля.

4. Підготувати стартап-проект для ринку електротранспорту.

Об'єкт дослідження — процес пошуку дизайну і конструкторсько-технологічного рішення для економічного міського електромобіля

Предмет дослідження — основи аеродинаміки електромобіля, проектування силової конструкції та забезпечення по виготовленню

Методи дослідження: Аналіз інженерних рішень, методи активізації пошуку інженерних рішень (мозковий штурм), системний аналіз та відбір кращих рішень за системою критеріїв, моделювання структури, компонентів та загального дизайну рішення в цілому та його компонентів спираючись на сучасні системи автоматизованого проектування, моделювання, технологічного підготовки виробництва, а саме Autodesk Inventor, Autodesk Flow Simulation, Autodesk Fusion 360, ArtCAM.

Наукова новизна отриманих результатів. Удосконалення міського електромобіля за рахунок створення нової концепції, яка передбачає можливість використання сучасних силових конструкцій та принципів формоутворення кузова.

Практичне значення отриманих результатів. На базі концептуального рішення створено конструкцію нового електрокара, тривимірні моделі, та масштабні прототипи, які виготовлені з використанням технологій оброблення на верстаті з ЧПК та адитивних технологій FDM.

Публікації. По темі магістерської дисертації опубліковано доповідь на науковій конференції.

Ключові слова: інженерний дизайн, аеродинаміка, проектування, просторова рама технологічне забезпечення, робот-трактор; точне землеробство.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	9
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	13
1.1 Аналіз параметрів існуючих рамних конструкцій	13
1.2 Аналіз існуючих матеріалів для рами автомобіля	17
1.3 Конструкція спортивних автомобілів.....	20
1.4 Методи розрахунку рам	21
1.5 Аналіз існуючих матеріалів корпусів	22
1.6 Аналіз параметрів існуючих корпусів електромобілів.....	23
1.6.1 Команда, що посіла перше місце на минулих змаганнях – SolarCarSolutions.	24
1.6.2 Команда, що посіла друге місце на минулорічних змаганнях – TUfast Eco Team	25
1.6.3 Команда, що посіла третє місце на минулорічних змаганнях - Evi Neuruppin.....	26
1.6.4 Tesla Model S	27
1.6.5 Nissan Leaf	28
1.6.6 Uniti One.....	28
1.6.7 Порівняльна характеристика електрокарів	29
1.7 Висновки по розділу	30
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНКИ ПРОЕКТНИХ ПАРАМЕТРІВ	31
2.1 Концепція електрокара ZEUS	31
2.2 Проектування рамної конструкції	32
2.2.1 Статичний аналіз рами	36
2.2.2 Визначення зусиль що діють на підвіску	38

2.2.3 Симуляція	40
2.3 Проектування та дослідження основних показників аеродинаміки кузова	44
2.3.1 Концепція зовнішньої форми	44
2.4 Симуляція аеродинаміки автомобіля	50
2.5 Висновки по розділу	54
3. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ	56
3.1 Виготовлення макету автомобіля	56
3.2 Технологічний процес виготовлення корпусу автомобіля	61
3.2.1 Метод ручного викладання	62
3.2.2 Технологія складання	64
3.3 Проектування стапеля для виготовлення рами	64
3.4 Виготовлення макету рами	66
3.5 Проведення експерименту	67
3.6 Висновки по розділу	69
4. СТАРТАП - ПРОЕКТ	70
4.1 Опис ідеї проекту	70
4.1.1 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї.	71
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	72
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	73
4.3.1 Потенційні клієнти	74
4.3.2 Аналіз ринкового середовища	75
4.3.3 Аналіз пропозиції	76
4.3.4 Аналіз умов конкуренції в галузі	77
4.3.5 Перелік факторів конкурентоспроможності	78
4.3.6 Аналіз сильних та слабких сторін	79

4.3.7 SWOT-аналіз стартап-проекту.....	80
4.3.8 Альтернативи ринкової поведінки	80
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	80
4.4.1 Визначення стратегії та охоплення ринку.....	80
4.4.2 Формування базової стратегії розвитку.....	81
4.4.3 Вибір стратегії конкурентної поведінки.....	82
4.4.4 Стратегія позиціонування	83
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	83
4.5.1 Формування маркетингової концепції товару	83
4.5.2 Трирівнева маркетингова модель товару	84
4.5.3 Визначення цінових меж.....	85
4.5.4 Визначення оптимальної системи збуту.....	85
4.5.5 Розроблення концепції маркетингових комунікацій.....	86
4.6 Висновки	87
Додатки.....	92
Додаток А. Технологія виготовлення макету у ArtCAM.....	93
Додаток Б. Постобробка макету рами.....	97
Додаток В. Партнерська пропозиція	98

ВСТУП

Можливості, які надає нам сьогодні світ, є найбільші за всю історію людства, їх вплив відображається у роботах інженерів різних сфер. Ці можливості розвивають людство, робить його життя більш комфортним та наповненим інформацією. Реалізація цих знань і можливостей необхідна і у автопромисловості, тим більше що вид двигунів винаходу минулого століття досі займає лідируючі позиції на ринку автомобілів. Частково, таким питанням займається компанія Shell, яка проводить щорічно змагання Shell Eco Marathon, шукаючи нові інженерні рішення в області альтернативного палива та оптимальних параметрів сучасних автомобілів. Маючи ідею та можливості, команда SET KPI має намір прийняти участь у змаганнях, а також дослідити цю галузь вже на досвіді іншого студентського проекту.

Говорячи про міський транспорт, усі мають уявлення про вічні затори автомобілів із ДВЗ. Змінити таку тенденцію можуть тільки маневрені електрокари, які вже давно набувають популярності у більш розвинутих країнах. Транспорт що не потребує багато місця та ресурсу, що швидко переправить пасажирів, навіть одного, по справах через місто без труднощів.

Електротранспорт наразі розвивається дуже стрімко, кожен концерн має свою модель гібриду або чистого «електрика». Вітчизняна автомобільна промисловість же спроможна створити доволі корисний та сучасний вид транспорту за допомогою необхідного фінансування та вдало представленого старт-апу. Тому дана дисертація на основі розглянутих варіантів пропонує оптимальні рішення в цьому напрямку.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

1.1 Аналіз параметрів існуючих рамних конструкцій

Роль силової конструкції в автомобілі може виконувати як несучий кузов так і рамна конструкція. В залежності від використання несущої структури розрізняють 3 типи рам: лонжеронна, інтегрована та просторова.

Несучий кузов. Найпоширеніша конструкція, що поєднує в собі технологічність, зручність, жорсткість і малу вагу. Для автовиробників найвигідніший варіант. На відміну від рамних, всі агрегати кріпляться до кабіни, і сама кабіна (разом з усіма зовнішніми і зовнішніми елементами кузова) несе все навантаження. Яскраве перевага перед рамами - легка вага і найкраща жорсткість на кручення (в рамних машинах її багато в чому забезпечує поставлений зверху кузов, хоча силовим несучим елементом він як би і не є.). Слідство низької ваги - найкраща керованість, економічність і динаміка. Інша незаперечна перевага - найкраща пасивна безпека, так як спочатку конструктори можуть створити спеціальні зони, які при аварії будуть поглинати енергію удару. Через те, що всі елементи несучого кузова взаємопов'язані і разом відповідають за всю конструктивну навантаження, при пошкодженні одного елемента страждає весь кузов, втрачаючи свої характеристики і жорсткість. На відміну від рами відновити рідну геометрію кузова після ушкоджень практично неможливо, не кажучи вже про вихідні характеристиках жорсткості і керованості. Ще у більшості легкових машин з часом починає деформуватися передня частина кузова, особливо в місцях кріплення стійки кузова, тому застосовують підрамник. Частина рами яка більш рівномірно розподіляє навантаження від підвіски на несучий кузов і перешкоджає локальних перевантажень силових елементів. Буває як передній, так і задній. Є найбільш часто застосовується силовим елементом підсилює конструкцію кузова [1].

Лонжеронна рама

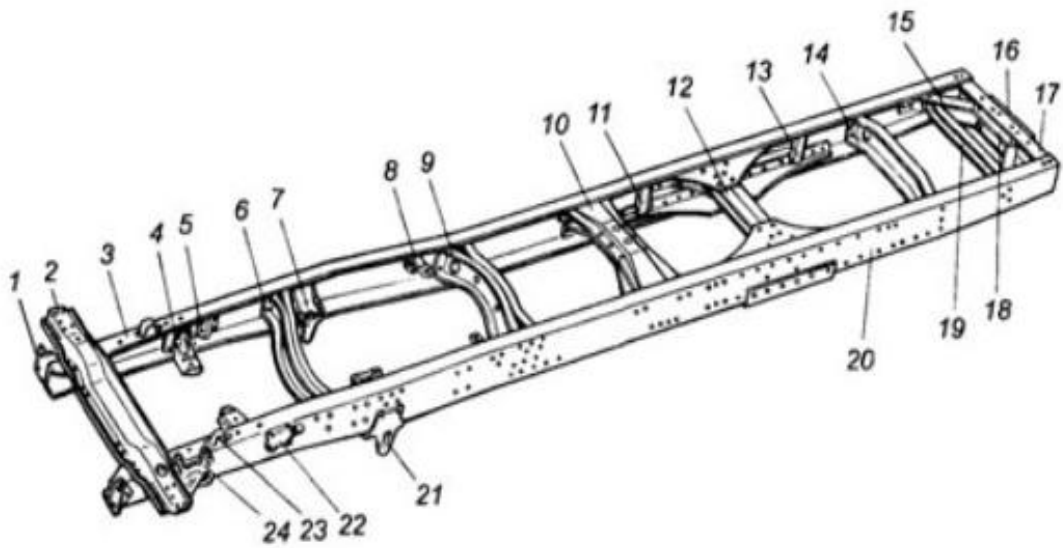


Рисунок 1.1 – лонжеронна рама (джерело - <http://ua-autoservice.blogspot.com/2011/07/blog-post.html>)

1 - кронштейн кріплення переднього буфера; 2 - перша поперечка; 3 - правий лонжерон; 4 - кронштейн передньої опори двигуна; 5 - подовжувальна вставка лонжерона переднього моста; 6 - дві половини другої поперечки; 7 - кронштейн задньої опори двигуна; 8 - кронштейн кріплення підтримуючої опори силового агрегату; 9 - дві половини третьої поперечки; 10 - четверта поперечка; 11 - подовжувальна вставка лонжерона проміжного моста; 12 - дві половини п'ятої поперечки з посилюючими косинками; 13 - подовжувальна вставка лонжерона заднього моста; 14 - шоста поперечка; 15 - розкіс задньої поперечки; 16 - підсилювальна накладка задньої поперечки; 17 - задня поперечка; 18 - косинка розкосу; 19 - стяжка розкосу задньої поперечки; 20 - лівий лонжерон; 21 - задній кронштейн передньої підвіски; 22 - кронштейн кріплення верхнього вушка амортизатора; 23 - кронштейн кріплення водяного радіатора; 24 - передній кронштейн підвіски [2]

Лонжеронна рама в наш час зустрічається найчастіше на позашляховиках і вантажних автомобілях. Використання її на техніці припускає важкі умови експлуатації або серйозні силові навантаження виправдано, і компенсує більшість її недоліків. В основі рами лежить конструкція, до якої кріпляться всі агрегати автомобіля, і все навантаження (удари від підвіски, вібрації від мотора, вага всіх агрегатів) лягає саме на неї. Відновити геометрію пошкодженої рами значно простіше, але доведеться демонтувати всі навісні елементи. Раму можна досить ефективно посилювати без застосування складних конструкцій, при

цьому, правда постраждає вага.. У автомобіля з рамною конструкцією центр ваги набагато нижче, тож перекинути таку машину буде важче. Також є і ряд мінусів – це вага, адже крім рами нам потрібен ще й кузов, який важить хоч і менше несе, але все ж чимало. Природно зайву вагу позначається і на керованості і на витраті палива. Мінусом рамної конструкції також є незручність установки на неї легкового кузова. Крім того від надмірних навантажень рама може лопнути. При зіткненні двох авто важкий позашляховик виявляється більш безпечним в силу ваги і міцності. Вона практично не деформується, відповідно мінімально гасячи енергію, відповідно вся кінетична енергія приходить на водія і пасажирів [1].

До складу лонжеронної рами входять кілька поперечок, які іноді називають «траверсами», пара поздовжніх лонжеронів (так називають головний силовий елемент несучої конструкції, що представляє собою короб складної форми, виконаний з металу), кронштейни та кріплення, призначені для установки на них кузова автомобіля і різних агрегатів. Вигини у вертикальній площині виконуються для зниження центра ваги. Разом з цим стає нижче і рівень підлоги в машині. Завдяки вигину лонжеронів в горизонтальній площині крім зниження рівня підлоги досягається істотне підвищення рівня пасивної безпеки в разі можливого бокового зіткнення [2].

Інтегрована рама. Рама і кузов є рівноцінно навантаженими елементами. Власне така конструкція включає в себе і плюси, і недоліки, як несучого кузова, так і лонжеронної рами. Інтегрована рама зустрічається на кросовери і легких позашляховиках, рідше на позашляховиках середніх розмірів. Малі навантаження сприймає кузов, великі – рама [1].

Просторова рама. Просторова рама являє собою несучу конструкцію у вигляді клітки по всій машині. До неї кріпляться всі елементи конструкції і декоративні елементи кузова. У серійних авто зустрічається вкрай рідко через низьку технологічності і складності виготовлення. Краще за всіх дружить з опором матеріалів, тому найміцніша при мінімальній вазі. Реально застосовується при будівництві суперкарів або гоночних автомобілів. Головний

мінус цієї конструкції - ціна. Для виробництва потрібно незрівнянно більше часу ніж для будь-якої іншої конструкції, то авто з просторовою рамою це або наддорогі суперкари, або споруджувані в одиничних екземплярах гоночні авто. Легка, міцна з добре прогнозованою деформацією, така рама, практично, являє собою несучий гоночний каркас і несучу раму одночасно. [1].

Проаналізувавши основні види існуючих рамних конструкцій, можна створити порівняльну характеристику переваг та недоліків.

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика існуючих силових конструкцій [1]

	Несучий кузов	Лонжеронна	Інтегрована	Просторова рама
Переваги	Вага, жорсткість на кручення, технологічність виготовлення, високий ступінь безпеки через поглинання силовими елементами енергії удару, керованість.	Міцність, ремонтпридатність, знижений центр мас, підвищення рівня пасивної безпеки, хороша ізоляція від шумів і вібрацій, не потребує серйозного посилення сторонніми елементами.	Міцність, ремонтпридатність, знижений центр мас, підвищення рівня пасивної безпеки, хороша ізоляція від шумів і вібрацій, не потребує серйозного посилення сторонніми елементами.	Простота, досить низька вартість, можливість уніфікації базових моделей, вага, міцність, прогнозованість деформації при ударах, лояльність до високих навантажень.
Недоліки	Низька ремонтпридатність, низька жорсткість на злам, погана пристосованість до агресивних умов експлуатації без додаткових підсилень.	Велика вага, керованість і економічність, безпека при зіткненні зі слабо деформуються перешкодами.	Велика вага, керованість і економічність, безпека при зіткненні зі слабо деформуються перешкодами.	Вібрації і рельєф будуть чітко відчутні навіть з м'якою підвіскою

В нашому проекті, вагомою є жорсткість конструкції, можливість її корегування, доступність виготовлення. Виходячи з цього, можемо зробити висновок: серед трьох видів рамних конструкцій, порівняно з несучим кузовом, найбільш придатна до використання та має вагомні переваги – просторова рама.

1.2 Аналіз існуючих матеріалів для рами автомобіля

Основні матеріали, що використовують для виготовлення силових конструкцій автомобіля: Сталь, алюміній, алюмінієві сплави, пластик та композити.

Сталь. Матеріали з яких виготовляють силову конструкцію кузова автомобілів в основному роблять зі сталі. Залежно від хімічного складу вона може значно змінювати свої властивості. Навіть звичайна листова сталь досить міцна і при цьому досить пластична. Що і потрібно для виготовлення зовнішніх штампованих панелей кузова, які у сучасних машин іноді дуже складної форми. Нерідко в несучих конструкціях автомобілів застосовується високоміцна сталь. З неї виконують найбільш відповідальні частини корпусу, які приймають на себе навантаження від двигуна, трансмісії, ходової частини, а також енергію удару в разі аварії. Технологія виробництва сталевих кузовів проста і давно налагоджена. Частини легко з'єднуються, різними способами зварювання, до того ж сталь коштує дешевше інших матеріалів. Тому зроблений з неї кузов виходить недорогим у виготовленні, так і в експлуатації теж. Адже в разі пошкодження сталеві деталі легко ремонтуються та не важкі в утилізуванні [3].

Алюміній. Алюміній знаходить все більше застосування у виготовленні кузовів (зазвичай у вигляді сплаву з домішками інших елементів). Алюміній істотно легше сталі. Повністю зроблений з нього кузов важить в середньому в два рази менше стандартного сталевого, аж ніяк не поступаючись йому в жорсткості і міцності. Однак даний матеріал коштує дорожче і для зварювання деталей з нього потрібно спеціальне обладнання. До того ж алюміній сильніше пропускає шум і вібрацію, тому звукоізоляцію салону автомобіля доводиться додатково посилювати. Через всього цього ціна автомобіля значно збільшується [3].

Список машин, в яких алюмінієві деталі складають не менше 60% маси кузова досить великий [4]:

Моделі Audi, A2, A8, R8, Lamborghini Gallardo, Ferrari F430, F360, 612, останні покоління Jaguar XJ X350-X351, XJR, XF, XE і F-Pace, Lotus Elise, а також Opel Speedster і Tesla Roadster, Honda NSX, Spyker і Mercedes SLS.

Алюмінієві сплави. Багато фірм знайшли золоту середину: вони роблять машини, у яких з такого матеріалу виготовлені лише окремі елементи кузова, наприклад, капот або крила. Ці деталі роблять окремо і монтують на сталевий каркас. Правда, при цьому доводиться обробляти панелі спеціальним складом, який запобігає корозії на стику алюмінієвих і сталевих деталей [4].

Пластик. На властивості пластика сильно впливає температура повітря - деякі його види при мінусовій температурі стають дуже крихкими, а в спеку надмірно м'якими. Виробництво пластмас неекологічне, а їх переробка вимагає спеціальної технології і обладнання. Даний матеріал не підходить для виготовлення деталей, які повинні витримувати високі навантаження. А в разі пошкодження пластикові панелі, як правило, потрібно міняти – їх ремонт не дешевий. Тому зараз із пластику роблять, головним чином, лише навісні елементи кузова - бампери, молдинги, рідше – крила. [3]

Композити. Вироби з композитів вельми довговічні, привабливі зовні, до того ж з них можна виготовляти великі нероз'ємні модулі. Однак, незважаючи на невисоку вартість склопластику, в сучасних автомобілях частіше використовується ще більш легке, тверде й міцне вуглецеве волокно. Основа багатьох суперкарів – це композитний монокок, сприймає все навантаження. Кузов таких машин полягає з однієї головної деталі, до якої кріпляться всі інші елементи. Однак, вуглеволокно обходиться досить дорого, і кузова з нього дуже трудомісткі у виробництві (часто вони вимагають ручної праці). Крім того, пошкоджені композитні деталі іноді не підлягають відновленню. В інших моделях з вуглеволокна виконуються окремі найбільш значущі панелі кузова. Наприклад, у «BMW M3» з цього матеріалу зроблений дах. З одного боку, композит надає їй необхідну міцність і жорсткість, а з іншого - значно полегшує кузов і знижує центр ваги машини. Наприклад, «скелет» відомого суперкара «Corvette» вже біле 50 років складається з металевої просторової рами із закріпленими на ній панелями з композитних матеріалів [4].

Таблиця 1.2

Порівняльна характеристика існуючих матеріалів

	Сталь	Алюміній	Алюмінієві сплави	Пластик	Композити
Переваги	Міцна і пластична, легко обробляти, низька ціна.	Легкий метал, жорсткий та міцний, сприймає великі навантаження	Легкий метал, жорсткий та міцний.		Невисока вартість, сприймає великі навантаження, жорсткий.
Недоліки	Велика вага	Необхідне спец. обладнання для зварювання, ціна.	Необхідне спец. обладнання для зварювання, ціна.	Не стійкий до температур, не витримує високі навантаження	Ціна

В нашому проекті, вагомою є жорсткість матеріалу, доступність, та особливо вага. Виходячи з цього, можемо зробити висновок: серед п'яти видів матеріалів для силових конструкцій, найбільш придатним до використання та має вагомі переваги – алюміній.

Таким чином представлена алюмінієва просторова рама. Вибрана марка алюмінію – 6061, хімічний склад якої представлений у таблиці 1.3 [5].

Таблиця 1.3

Хімічний склад алюмінію марки 6061

Назва компоненту	Частка у сплаві, %
Al - Алюміній	95.8 - 98.6
Cr - Хром	0.04 - 0.35
Cu - Медь	0.15 - 0.4
Fe - Железо	0 - 0.7
Si - Кремний	0.4 - 0.8
Ti - Титан	0 - 0.15
Zn - Цинк	0 - 0.25
Mg - Магній	0.8 - 1.2
Mn - Марганець	0 - 0.15

2,700 г/см ³	Плотность
68,900 ГПа	Модуль Юнга
0,330 бр	Коэффициент Пуассона
55,000 МПа	Предел текучести
62,000 МПа	Окончательный предел прочности растяжения
230,000 Вт/(м К)	Теплопроводность
0,000236 бр/С	Линейное расширение
0,897 Дж/(кг К)	Удельная теплоемкость

Рисунок 1.2 – фізичні властивості алюмінію марки 6061 (джерело – Autodesk Inventor Professional library of materials)

1.3 Конструкція спортивних автомобілів

Основою шасі сучасних спортивних автомобілів, є кузов, представляє собою несучу конструкцію до якої кріпляться всі інші вузли машини, в якості НС мають об'ємно-стрижневу конструкцію або монокок. На рис. 1.6 а) представлена конструкція НС гоночного автомобіля «Pininfarina Sigma», в якій дві крайні перегородки з'єднані між собою за допомогою високих балок коробчастого перетину, три передні перегородки з'єднані широкими балками коробчастого перетину. На рис. 1.4 б) показана рама дорожнього автомобіля з елементами стрижневого і коробчастого типів. [6]

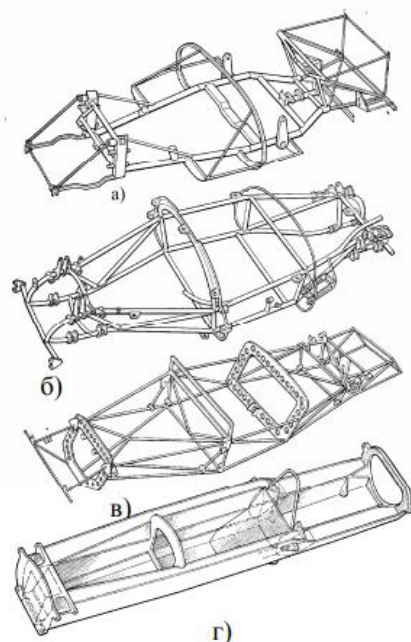


Рисунок 1.3 – еволюція конструкцій (джерело – «оцінка напружено-деформованого стану несучих систем та елементів конструкції із сучасних матеріалів у спортивних автомобілях». Монографія. Харків. ХНАДУ 2016)

Об'ємно-стрижневі конструкції каркасів безпеки широко використовуються фірмами для кріплення кабін легкових і вантажних спортивних автомобілів, що беруть участь в ралі. При створенні кузова спортивного автомобіля основна увага приділяється жорсткості кузова і підвищеної безпеки автомобіля. При цьому слід враховувати технічні вимоги класу створюваного автомобіля. Так у багатьох класах, для зменшення кінцевої вартості автомобіля заборонено створювати новий кузов. В цьому випадку для збільшення жорсткості кузова застосовують каркаси безпеки які являють собою просторову раму зварену з труб і ввареними в кузов автомобіля, точками кріплення каркаса є місця кріплення підвіски автомобіля. На рис. 1.6 показані типові конструкції каркасів таких машин [6].

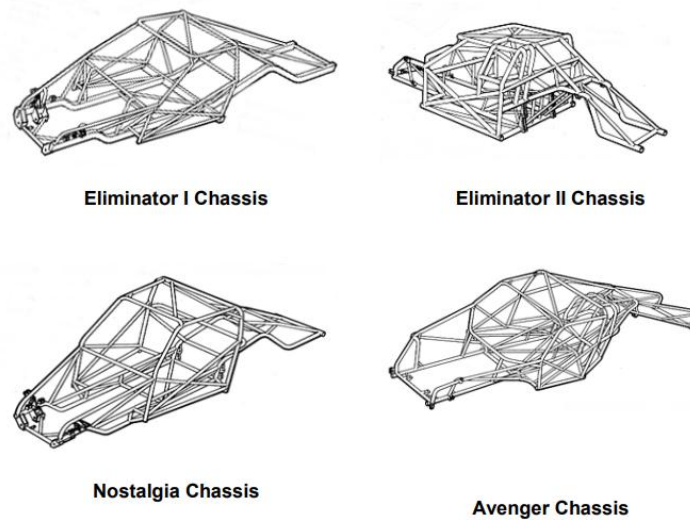


Рисунок 1.4 – типові конструкції каркасів безпеки (джерело –[6])

1.4 Методи розрахунку рам

Існує два шляхи розрахунку рам:

- *Аналітичний* – креслення кінематичних схем та епюр, знаходження сил послідовними розрахунками. Наприклад: метод переміщень, комбінований та змішаний метод розрахунку, статичні аналізи рам.

- *Комп'ютерний* – симуляція CAD моделі на ПК. Найрозповсюдженішими CAD програмами з функціями CAE є: Autodesk Inventor, SolidWorks, CATIA, Pro-E, Fusion 360.

Перевагами комп'ютерного методу перед аналітичним є простота розрахунку, швидкість, безпомилковість (відсутній людський фактор неувважності), можливість розрахувати складні конструкції.

За умови доступності, компанія Autodesk надає безкоштовне програмне забезпечення студентам строком на 3 роки.

1.5 Аналіз існуючих матеріалів корпусів

Скловолокно являє собою волокна чи нитки, виготовлені зі скла або його похідних, але завдяки складному процесу виробництва набула в кінцевому підсумку унікальні властивості, нехарактерні для звичайного скла. Воно не розбивається при ударі, а легко гнеться, при цьому не деформуючись і не пошкоджуючись. З матеріалів, вироблених на його основі, виготовляються різні вироби, успішно замінюють традиційні звичні матеріали, а сферою застосування стають області будівництва, автомобілебудування, дорожні роботи в інші напрямки [7].

Переваги [7]:

- високий рівень міцності, який перевершує міцність легованої сталі;
- діаметр ниток скловолокна складає 7-9 мк;
- зроблені з магній алюмосилікатного скла і скла, що не містить луг;
- стійкість до термічної обробки;
- структура скловолокна зберігається навіть при сильному нагріванні.

Таблиця 1.4

Характеристика вугле волоконних матеріалів [8]

Найменування	Приклад застосування	Характеристика
Склотканина 3 ровінгу ТР-0,3	Ідеальний компонент для виготовлення склопластикових виробів, корпусів в суднобудуванні	Товщина, мм 0,3 ($\pm 0,06$) Поверхнева щільність, г / м ² 480 (± 60) Щільність тканини, ниток / см: по основі 40 (± 2) по качку 30 (± 2) Розривне навантаження, Н (кгс), не менше: по основі 2940 (300) по качку 2450 (250) не горюча, не токсична
Склотканина 3 ровінгу ТР-0,7		Товщина, мм 0,7 ($\pm 0,02$) Поверхнева щільність, г / м ² 850 (± 80) Щільність тканини, ниток / см: по основі 30 (± 2) по качку 20 (± 2) Розривне навантаження, Н (кгс), не менше: по основі 3136 (320) по качку 2450 (250) не горюча, не токсична
Склотканина 3 ровінгу ТР-0,13		Товщина, мм 0,23 ($\pm 0,05$) Поверхнева щільність, г / м ² ... 300 (± 100) Щільність тканини, ниток / см: по основі 82 (± 2) по качку 48 (± 2) Розривне навантаження, Н (кгс), не менше: по основі 2352 (240) по качку 1715 (175) не горюча, не токсична

В нашому проекті, вагомою є щільність матеріалу, можливість витримувати високі температури, та товщина шару. Виходячи з цього, можемо зробити висновок: серед трьох видів склотканини для корпусу, найбільш придатним до використання та має вагомні переваги – склотканина марки ТР-0,7. Серед конкурентів вона має достатню товщину, високу поверхневу щільність та витримує високе поверхнєве навантаження.

1.6 Аналіз параметрів існуючих корпусів електромобілів

Об'єктом дослідження є корпус електромобіля. Розглянемо параметри декількох прямих конкурентів на перегонах Shell Eco Marathon та сучасних

компаній-постачальників. Серед конкурентів виділимо найкращі 3 команди, що посіли перші місця в розділі машин, що працюють на електроенергії. Серед постачальників виділимо два найбільш популярних електромобіля – Tesla Model S та Nissan Leaf.

Виходячи з фінальних результатів етапу європейських перегонів [9] «UrbanConcept Battery-electric» маємо 3 прямих конкуренти.

1.6.1 Команда, що посіла перше місце на минулих змаганнях – SolarCarSolutions.



Рисунок 1.5 – загальний вигляд автомобіля команди SolarCarSolutions – Ylona 2 (джерело - <http://solarcarsolutions.com/ylona2.php>)

Технічні характеристики транспортного засобу [10]: Довжина – 3200мм; Ширина – 1200мм; Висота – 1100 мм; 4 колеса: 2 передніх депфірованих колеса, оснащених трикутником "Mac Pherson" та жорсткі амортизатори на задній осі; Колеса з вуглецевими дисками та керамічними підшипниками; Гальмування 4 дисковими гальмами - Ø200мм, гідравлічним двигуном з 4 незалежними головними циліндрами, з'єднаними типу МТБ; Шасі виготовлене на вуглецевій основі; Рейкове рульове управління; Автомобільна сигналізація типу Bosch; Двірники; 5-титочковий ремінь безпеки; Вага

автомобіля - 96 кг; Літієва батарея на 42В та 12А; Безшвидкісний мотор з програмованим контролером 36В, 500Вт, 350об/хв;

Форма машини має напливи над передніми колесами по обидва боки, форма кабіни для водія має дещо різкий виступ, що не впливає позитивно на аеродинаміку машини але економить матеріал. Задні колеса повністю закриті корпусом.

1.6.2 Команда, що посіла друге місце на минулорічних змаганнях – TUfast Eco Team



Рисунок 1.6 - загальний вигляд автомобіля команди TUfast Eco Team – muc017 (джерело - <https://tufast-eco.de/de/fahrzeuge/muc017/>)

Технічні характеристики транспортного засобу [11]: Композитне шасі з вуглецевого волокна; Довжина – 3000мм; Маса – 100 кг; Максимальна швидкість - 30 км / год; Два електродвигуна; Літій-полімерний акумулятор; Номінальна потужність двигунів - 860 Вт; Автоматизована система керування акумулятором; Передача електроенергії через кільцеві шестерні; Саморозвинений регулятор двигуна; Управління через CAN та LIN; Внутрішнє виробництво компонентів CFRP; Аеродинамічно оптимізований дизайн; Подвійна передня вісь; Жорстка підвіска на задній осі; Гідравлічні дискові гальма.

Muc017 має схожий корпус з машиною команди SolarCarSolutions. Тут, передня частина має більш плавні форми переходу, але задні колеса не повністю закриті корпусом. Згідно сайту команди [8], двері автомобіля відчиняються по типу крила, для з'єднання корпусних частин використовувалися адгезиви.

1.6.3 Команда, що посіла третє місце на минулорічних змаганнях - Evi Neuruppin

Корпус E-fish має складну аеродинамічну форму, головною відмінністю є «розсікач» повітря в нижній частині та плавне звуження корпусу з передньої до задньої частини. Задні колеса дещо прикриті корпусом. Згідно сайту команди, автомобіль має таку легку вагу (97 кг) завдяки алюмінієвій рамі та корпусу, виготовленого з вуглецю. Транспортний засіб оснащений електродвигуном, який забезпечується електрикою за допомогою акумулятора [12].



*Рисунок 1.7 - загальний вигляд автомобіля команди Evi Neuruppin – e-fish
(джерело - <https://www.e-fish.online/das-auto>)*

1.6.4 Tesla Model S



Рисунок 1.8 – загальний вигляд автомобіля (джерело - <https://ecotechnica.com.ua/stati/291-tesla-model-s-luchshij-elektrokar-v-mire-kharakteristiki-foto-video.html>)

Технічні характеристики транспортного засобу [13]: Потужність двигуна - 762 к.с (560,46 кВт).; Запас їзди 426 км; Довжина – 4976мм; Ширина – 1963мм; Висота – 1435мм; Колісна база – 2959мм; Максимальна швидкість – 249км/г; Запас ходу – 426км; Двигун асинхронний трифазний змінного струму; Макс. крутний момент - 600Нм; Маса – 2108 кг; Літій-іонна батарея; Ємність батареї - 90 кВт-г; Гальмівна система вентиляційних гальмівних дисків використовується в поєднанні з електронним приводом гальма стоянки і системою рекуперативного гальмування; Допоміжні системи гальмування Антиблокувальна система гальм (ABS)

Згідно сайту [13], Model S оснащена міцним, жорстким і легким алюмінієвим корпусом. У ключових зонах для підвищення безпеки пасажирів використовується високоміцна сталь. Передня частина автомобіля оптимізована для безпеки водія і пасажирів. Ідеально прямі подвійні восьмикутні бруси проходять по нижній частині конструкції та призначені для поглинання енергії удару.

1.6.5 Nissan Leaf



Рисунок 1.9 - загальний вигляд автомобіля (джерело - <https://www.autoenterprise.com.ua/nissan-leaf/?lang=uk>)

Технічні характеристики транспортного засобу [14]: Електродвигун: Потужність: 80 кВт (109 к.с.); Крутний момент: 280 Нм (постійно); Трансмісія і тип приводу: Маса – 1521 кг; 1-ступеневий редуктор; Передній привід; Батарея: 24 кВт, літєво-іонна; Динамічні дані: Максимальна швидкість: 145 км/год; Експлуатаційні дані: Запас ходу до 200 км; Довжина / ширина / висота / колісна база / дорожній просвіт: 4445 мм / 1770 мм / 1550 мм / 2700 мм / 160 мм

До загальних особливостей відносяться виступаючі світлодіодні фари, що нагадують за формою складений аркуш. Виступаючі фари забезпечують перенаправлення потоку повітря від бічних дзеркал, з метою зменшення шуму вітру в салоні автомобіля.

1.6.6 Uniti One



Рисунок 1.10 - загальний вигляд автомобіля Uniti One (джерело - <https://3dnews.ru/962648>)

Технічні характеристики транспортного засобу [15]: Дальність подорожі на заряді акумулятора від 150 до 300 км; Максимальна швидкість – 130 км / год; Габаритні розміри: Довжина×Ширина×Висота – 2910×1275×1428; Вага автомобіля без вантажу та пасажирів - 450 кг; Накопичувач – літій-іонний акумулятор 15-24 кВт·г.

Одномісний електрокар має округлу форму кузова що позитивно впливає на аеродинамічні властивості. Електрокар повністю оснащений персональною хмарною системою для віддаленого керування та контролю.

1.6.7 Порівняльна характеристика електрокарів

Таблиця 1.5

Порівняльна характеристика основних показників електрокарів

Назва команди	Потужність двигуна, кВт	Дальність ходу на одному заряді, км	Маса, кг	Ємність батареї, кВт/год	Максимальна швидкість, км/год
SolarCarSolutions	0,50	186.9	96	-	-
TUfast Eco Team	2×0,43	162.4	100	-	30
Evi Neuruppin	-	138.8	97	-	-
Tesla Model S	546,60	426.0	2108	90	249
Nissan Leaf	80.00	200.0	1521	24	145
Uniti One	-	300.0	450	24	130

Проаналізувавши прямих конкурентів на перегонах, можна виділити позитивні характеристики болідів: жорстка підвіска на задній осі; закономірністю форми є поступове звуження ширини авто з передньої частини до задньої; заміна гострих кутів на більш округлі та обтічні форми; задня база коліс частково або повністю закрита кузовом; вага автомобіля значно знижується за рахунок корпусу на вуглецевій основі.

Таким чином, маємо числові результати для створення конкурентного продукту:

- Потужність двигуна – 0,9 кВт;
- Дальність ходу на одному заряді – 200 км;
- Маса – 95 кг;
- Ємність батареї – 1 кВт/год
- Максимальна швидкість – 40 км/год

1.7 Висновки по розділу

Виходячи з проаналізованих результатів, маємо ряд невирішених питань як у конструкції так і у ергономіці. З погляду рами, невизначеним є питання співвідношення елементів просторової рами, її жорсткості та маси. Також потребує вивчення корпус автомобіля, призначення кожного елементу форми та їх вплив на аеродинаміку всього автомобіля.

Метою дослідження є створення проекту інтегрованого у міські умови автомобіля, з покращеними економічними, екологічними, та ергономічними показниками.

Задачі дослідження:

1. На основі аналізу ринку й наявних технічних рішень міського електромобіля розробити нове концептуальне рішення форми кузова.
2. На основі аналізу ринку й наявних технічних рішень міського електромобіля спроектувати нову силову конструкцію.
3. Створити й дослідити макет прототипу нового міського електромобіля.
4. Підготувати стартап-проект для ринку електротранспорту.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНКИ ПРОЕКТНИХ ПАРАМЕТРІВ

2.1 Концепція електрокара ZEUS

Концепція електрокара повністю залежить від його функціонального призначення, де кожен елемент сконструйований відповідно до певних вимог або ГОСТів. Ціллю створення такого транспорту було задовольнити потреби людей, яким необхідно швидко безпечно, та головне без великих затрат пересуватися в міських умовах їзди. Тобто основними потребами є маневреність транспорту, простота у паркуванні, габарити, зручність водіння. Для підтвердження наявності даних характеристик та представлення авто широкому загалу, є актуальним прийняти участь у міжнародних змаганнях, основними вимогами яких є перш за все безпека водія. Таким чином автомобіль буде брати участь у змаганнях Shell Eco Marathon як урбаністичний електрокар. Основними вимогами при конструюванні автомобіля ми приймаємо офіційні правила перегонів за 2018 рік [16]. Так отримуємо уявлення про основні розміри авто [16]:

а) загальна висота транспортного засобу повинна бути від 1000 мм до 1300 мм;

б) загальна ширина транспортного засобу, без дзеркал заднього виду, повинна бути від 1200 мм до 1300 мм;

в) загальна довжина транспортного засобу повинна бути від 2200 мм до 3500 мм;

г) ширина колії повинна бути не менше 1000 мм для передньої вісі та 800 мм для задньої вісі, виміряна між середніми точками, в яких шини торкаються землі;

д) колісна база повинна бути не менше 1200 мм;

є) водійське відділення має мати мінімальну висоту 880 мм та мінімальну ширину 700 мм на плечах водія;

ж) кліренс повинен бути не менше 100 мм з водієм (і необхідним баластом) у транспортному засобі. Максимальна вага автомобіля (без водія) становить 225 кг. Усі розміри транспортного засобу не повинні бути досягнуті за допомогою розширень тіла, таких як «прикріплені» пристосування або відсіки.

Але для того, щоб інтегрувати автомобіль у міське середовище, необхідно враховувати ергономіку та зовнішню привабливість, функціонал та здатність продукту конкурувати на ринку по технічним показникам. Автомобіль повинен мати аеродинамічну форму, малу вагу, спеціально підібрану силову установку, електромережу, спеціально підібрані колеса. Одномісний електрокар не є типовим продуктом на автомобільному ринку, тому, впровадження функціональних рішень у конструкцію для зручності подорожі та вирішення питань є необхідністю.

2.2 Проектування рамної конструкції

Безпеку пасажирів та міцність автомобіля забезпечує рама, яку ми проаналізували в першому розділі. Основною вимогою до конструкції ми ставимо безпеку, тому вздовж нижньої частини автомобіля проведено дві балки прямокутного перерізу для демпфірування можливого удару у повздовжньому напрямку. Трубчасті конструкції приєднані до балок забезпечують жорсткість конструкції та сприймають навантаження корпусу і кріпильних частин. Рама повинна передбачати місця для кріплення підвіски та дверей. Сконструйована рама представлена на рисунку 2.1. Вибрана рама тяжіє до триангулярної структури, що забезпечує більшу надійність каркасу. На основі розглянутих у першому розділі можливих конструкцій – гратчаста рама є бюджетним, але не менш надійним варіантом. Таким чином, було запропоновано 2 можливих варіанти конструкції каркасу.

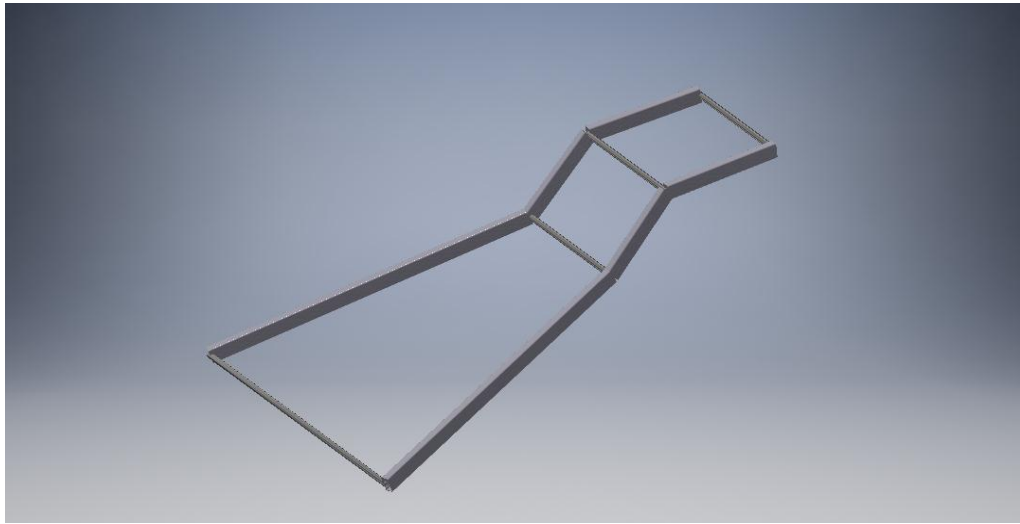


Рисунок 2.1 – базова конструкція

Спочатку необхідно задати жорстку основу, тому було спроектовано нижні балки, що сприйматимуть основне навантаження та задаватимуть початкові розміри.

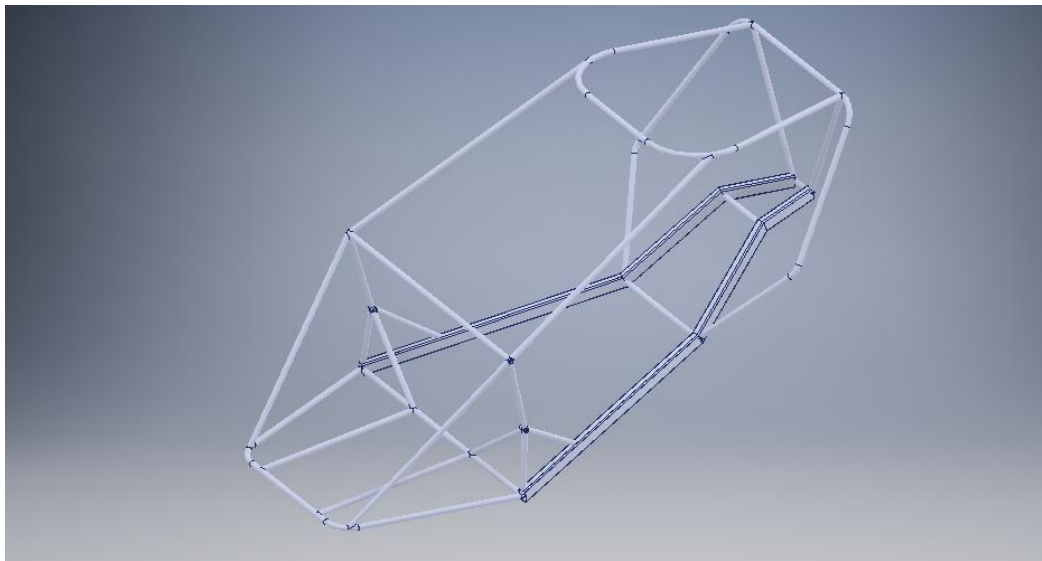


Рисунок 2.2 – перший початковий варіант рами

На цьому варіанті помітно звужена задня частина, що відповідає за розміщення електрообладнання. Частина даху, здається не технологічною та при збиранні конструкції відносно складною. Надто широкі габарити передньої частини.

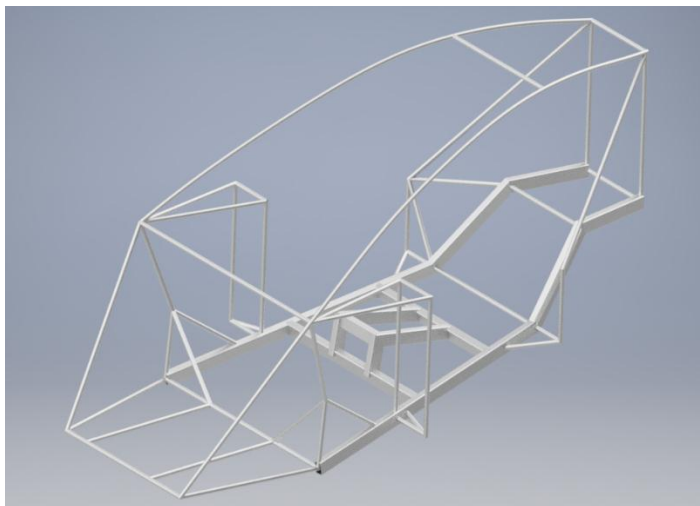


Рисунок 2.3 – загальний вигляд рами

Така конструкція рами достатньо жорстка. Частина для даху спрощена за рахунок вигинання суцільної труби. Додана конструкція для кріплення та розміщення водійського крісла; додані частини для закріплення дверей та вузлів, та підвіски.

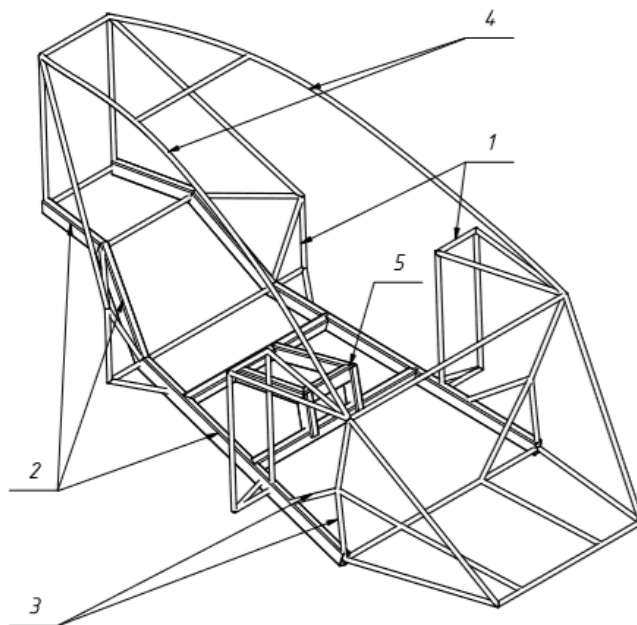


Рисунок 2.4 – основні складові частини рамної конструкції

1- Рама під кріплення для дверей; 2- Основна балка; 3- рама під кріплення підвіски; 4- дугова труба для сприйняття основного навантажень ваги корпусу; 5 – Місця під кріплення сидіння

Рама проектувалася виходячи з габаритних розмірів складових що будуть кріпитися на раму та лімітуючих по правилам перегонів Shell Eco Marathon.

Для основи рами використовується каркас прямокутного профілю згідно [17] $50 \times 30 \times 2,5 \text{ мм}$ «Профіль прямокутний порожнистий, формований в холодному стані», для решти каркасу використовується труба згідно [18] КР $\varnothing 16 \times 1$ «Труби холоднодеформовані із алюмінію та алюмінієвих сплавів».



Рисунок 2.5 – загальний вигляд рами у корпусі

Таким чином представлена алюмінієва гратчаста рама. Геометрія та механічні властивості перерізів двох профілів представлені на рис. 2.1, витягнуті з модуля «Генератор рам» у програмному забезпеченні Autodesk Inventor.

Геометрия	Механические	Геометрия	Механические
Ширина сечения	I_x	Ширина сечения	I_x
30,000 мм	112980,472 мм ⁴	16,000 мм	1331,250 мм ⁴
Высота сечения	I_y	Высота сечения	I_y
50,000 мм	50517,347 мм ⁴	16,000 мм	1331,250 мм ⁴
Сечение	J	Сечение	J
358,905 мм ²	114015,380 мм ⁴	47,124 мм ²	2662,500 мм ⁴
ЦМ:	W_x	ЦМ:	W_x
x	4519,219 мм ³	x	166,406 мм ³
15,000 мм	W_y	8,000 мм	166,406 мм ³
y	3367,823 мм ³	y	W_z
25,000 мм	5682,630 мм ³	8,000 мм	332,812 мм ³
	A_x		A_x
	126,773 мм ²		23,632 мм ²
	A_y		A_y
	198,249 мм ²		23,632 мм ²

а)

б)

Рисунок 2.6 – геометрія та механічні властивості а) балки прямокутного профілю $50 \times 30 \times 2,5 \text{ мм}$; б) труба КР $\varnothing 16 \times 1 \text{ мм}$

2.2.1 Статичний аналіз рами

Знаходимо центр мас рами у програмному забезпеченні Autodesk Inventor Professional. Шляхом створення складального креслення, програма враховує центри мас кожної складової. Основні складові – це частини авто що мають значну вагу та є необхідними у русі автомобіля: електрообладнання, рама, водійське крісло, людина, кузов та педальний вузол.

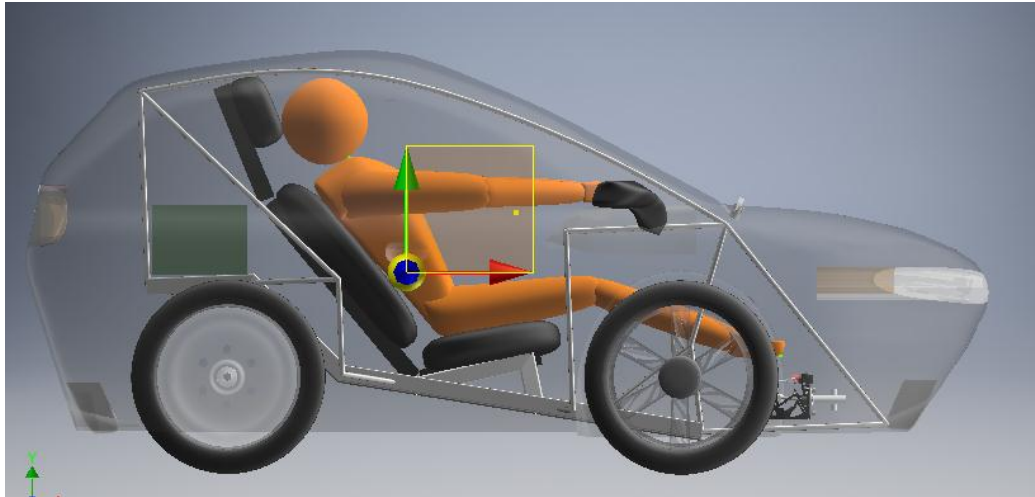


Рисунок 2.7 – центр мас автомобіля

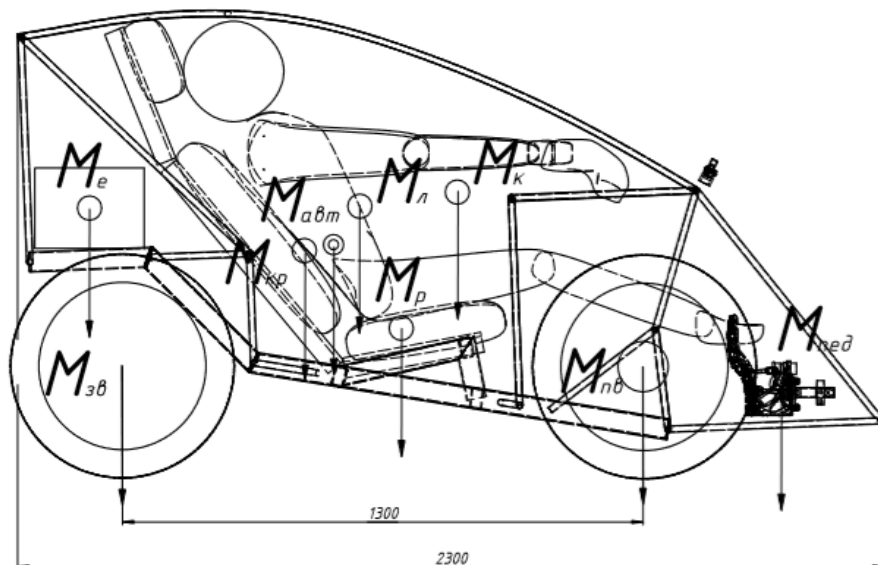


Рисунок 2.8 – розподілення навантаження на передню та задню вісь

M_k – маса корпусу; M_e – маса встановлених електроприладів; M_l – маса людини, $M_{кр}$ – маса крісла; M_p – маса рами; $M_{пв}$, $M_{зв}$ – відносно маса, яка приходить на передню та задню вісь; $M_{пед}$ – маса педального вузла

Визначимо масу корпусу. Масу корпусу вираховуємо з площі та кількості шарів скловолокна. Площа усього корпусу – $3856210 \text{ мм}^2 \approx 3,8 \text{ м}^2$. Згідно джерела [8] склотканина, має товщину 0,7 мм, та вагу 216 г/м^2 . Для підвищення жорсткості конструкції викладаємо корпус у три шари скловолокна.

$$M_k = 3(P_k \times M_v) \quad (2.1)$$

$$M_k = 3(3,8 \times 0,216) \approx 2,5 \text{ кг}$$

де, M_v – маса скловолокна г/м^2

P_k – площа корпусу м^2

З урахуванням ваги епоксидної смоли, припускаємо що $M_k = 4,5 \text{ кг}$.

Визначимо масу рами. За допомогою програмного забезпечення, визначаємо $M_p = 8,8 \text{ кг}$.

Визначимо масу людини. У джерелі [19], вказана мінімальна вага водія – 70 кг. Беручи з запасом, для посилення силових показників конструкції, припускаємо, що водій важитиме 90 кг. Розподіл ваги у людини розглядається у [19], табл. 5.1. Виходячи з цього

$$M_{гт} = M_l \times 0,56 \quad (2.2)$$

$$M_{стег} = M_l \times 0,12 \quad (2.3)$$

$$M_{гс} = M_l \times 0,07 \quad (2.4)$$

$$M_{гт} = 90 \times 0,56 = 50,4 \text{ кг}$$

$$M_{стег} = 90 \times 0,12 = 10,8 \text{ кг}$$

$$M_{гс} = 90 \times 0,07 = 6,3 \text{ кг}$$

де, 0,56; 0,12; 0,07 – 56%; 12%; 7% – відсотковий розподіл ваги по частинам тіла;

M_l – вага водія.

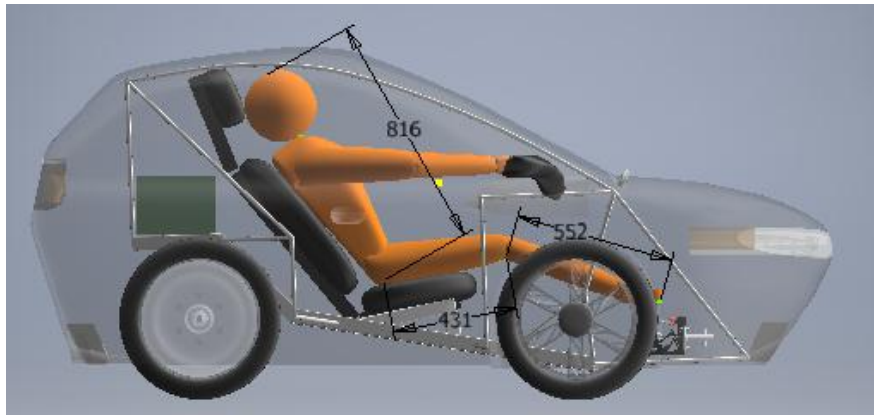


Рисунок 2.9 – розміщення людини в автомобілі

Людина з ростом 1м 80см зручно розташується на кріслі сидіння.

Визначимо масу електроустаткування. Згідно джерела [20] вага акумуляторів низької потужності дорівнює від 10 до 12 кг. Беручи до уваги запас ваги у вигляді контролера та багажу, приймаємо $M_e = 15$ кг.

Визначимо масу педального вузла. Беручи до уваги досвід проектування педального механізму, приймаємо приблизно $M_{\text{пед}} = 2$ кг

Визначимо масу крісла. Приймаємо стандартне автомобільне водійське крісло полегшене одним каркасом $M_{\text{кр}} = 15$ кг

2.2.2 Визначення зусиль що діють на підвіску

Отже, знайдемо масу, що припадає на кожну вісь. Згідно розрахунків [21] проектуємо кожну масу на одну вісь і вираховуємо як моменти, що діють на неї діють.

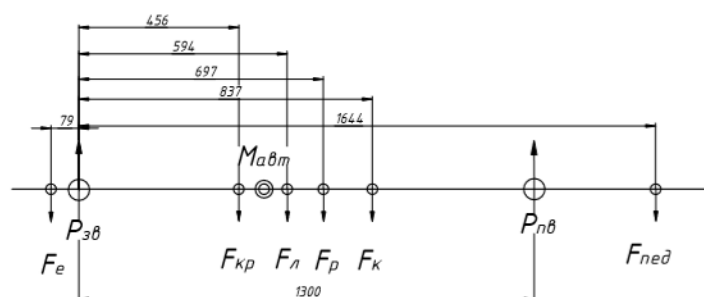


Рисунок 2.10 – розрахунок моментів для задньої осі

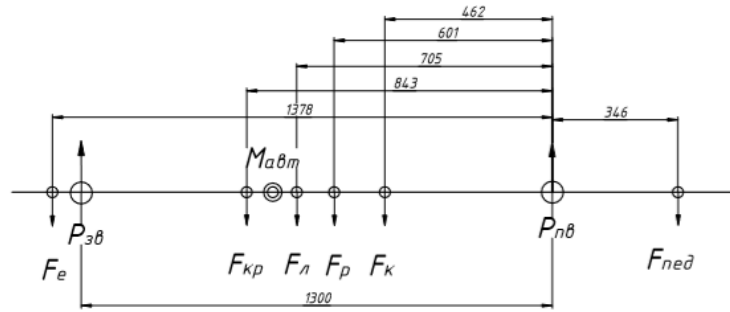


Рисунок 2.11 – розрахунок моментів для задньої осі

F – сили, відповідні масам складових

Отже, розраховуємо навантаження на передню і задню вісь.

$$R_{зв} = -\frac{F_e \times 79}{1300} + \frac{F_{кр} \times 456}{1300} + \frac{F_{л} \times 594}{1300} + \frac{F_{р} \times 697}{1300} + \frac{F_{к} \times 837}{1300} + \frac{F_{пед} \times 1644}{1300} \quad (2.5)$$

$$R_{пв} = -\frac{F_{пед} \times 346}{1300} + \frac{F_{к} \times 462}{1300} + \frac{F_{р} \times 601}{1300} + \frac{F_{л} \times 705}{1300} + \frac{F_{кр} \times 843}{1300} + \frac{F_{в} \times 1378}{1300} \quad (2.6)$$

$$R_{зв} = -\frac{147 \times 79}{1300} + \frac{147 \times 456}{1300} + \frac{882 \times 594}{1300} + \frac{86 \times 697}{1300} + \frac{44 \times 837}{1300} + \frac{20 \times 1644}{1300} = 440 \text{ Н}$$

$$R_{пв} = -\frac{20 \times 346}{1300} + \frac{44 \times 462}{1300} + \frac{86 \times 601}{1300} + \frac{882 \times 705}{1300} + \frac{147 \times 843}{1300} + \frac{147 \times 1378}{1300} = 778,9 \text{ Н}$$

Округлюємо дані у більшу сторону і отримуємо, що мінімальну вагу, яку підвіска повинна забезпечити, це

$$R_{зв} = 45 \text{ кг}$$

$$R_{пв} = 80 \text{ кг}$$

Отримуємо реакції опор, що виникають на місцях кріплення осей.

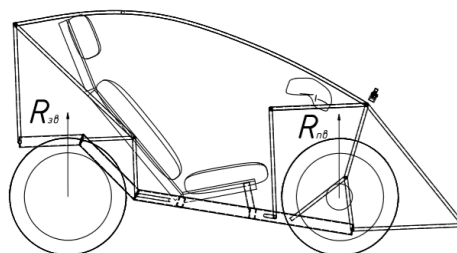


Рисунок 2.12 – реакції опор

Висновки: визначивши основні складові автомобіля, які мають вагому масу та значно впливатимуть на підвіску, розраховуємо їх маси та вираховуємо розподілене зусилля. Таким чином, отримуємо: $R_{зв} = 440 \text{ Н}$; $R_{пв} = 778,9 \text{ Н}$.

2.2.3 Симуляція

Рама була випробувана для підтвердження безпечних умов їзди. За допомогою «Генератора рам», був виконаний статичний аналіз у програмному забезпеченні Autodesk Inventor Professional. Де, при заданих навантаженнях конструкції, пружне зміщення частин не перевищує 0,77 мм, що підтверджує достатню жорсткість, як показано на рисунку 2.4.

Сили 1,2,3,4 діють на раму із зусиллям 11 Н кожна, які розподілені по головним верхнім вузлам рами. Вага усього корпусу 4,5 кг, це 44 Н загалом. Така схема дії ваги буде актуальна, тільки в тому випадку, якщо кріплення корпусу буде здійснюватися у верхніх точках. Вона є найкращим варіантом для перевірки напруги та зміщення верхньої дуги.

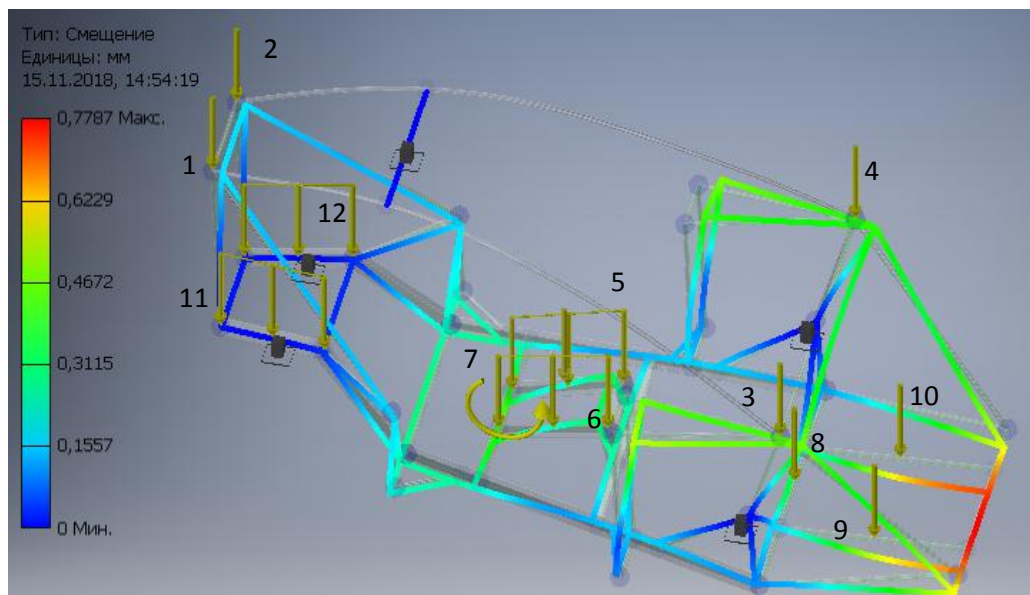


Рисунок 2.13 – симуляція рамної конструкції на зміщення частин під навантаженням:

1,2,3,4 – сили які виступають у якості ваги корпусу; 5,6 – розподільне навантаження ваги сидіння та водія; 7 – момент, який відображає спирання водія на спинку крісла; 8 – сила навантаження ногами; 9,10 – сили що відображають вагу педального вузла; 11,12 – розподільне навантаження батареї та додаткового обладнання.

Розподільні навантаження 5 та 6, мають $0,4 \text{ Н/мм}$ кожна. Тобто при довжині ділянки у 325 мм , на нього діє сила у $252,9 \text{ Н}$, тобто вага водія $105,9 \text{ Н}$ та вага сидіння 147 Н .

Момент 7 має значення $253524,6 \text{ Н}\times\text{мм}$. Він відображає вигин при спиранні водія на спинку сидіння зусиллям $494,2 \text{ Н}$. Знаходження плеча моменту зображено на рис. 2.8

Сила 8 має значення $61,8 \text{ Н}$. Відображає вагу ніг яка діє в передній частині – $6,3 \text{ кг}$.

Сили 9 та 10 діють на раму із зусиллям $9,8 \text{ Н}$ кожна, які розподілені симетрично та відображають вагу педального вузла. Вага усього вузла – 2 кг .

Розподільні навантаження 11 та 12, мають $0,8 \text{ Н/мм}$ кожна. Тобто при довжині ділянки у 306 мм , на нього діє сила у 245 Н , що відображає вагу електроустаткування у 50 кг .

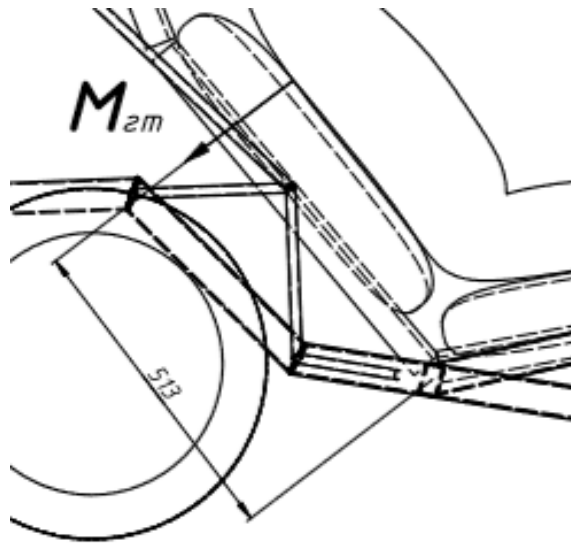


Рисунок 2.14 – симуляція рамної конструкції на зміщення частин під навантаженням

Напруження що виникає при дії цих сил представлена на рисунку 2.5

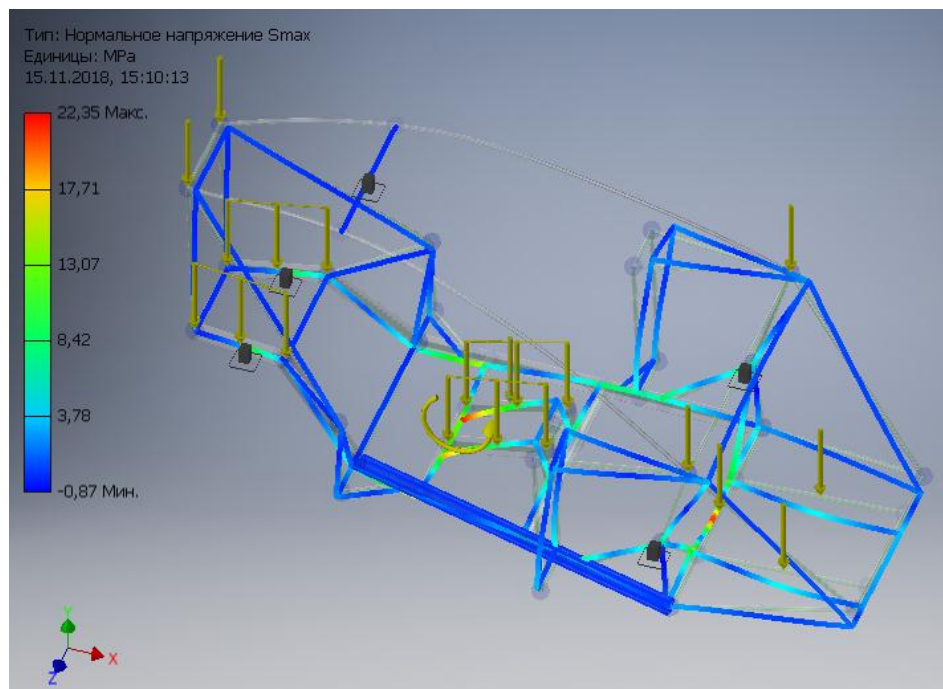


Рисунок 2.15 – напруження що виникає в рамі

Максимальна нормальна напруга у рамі – 22,35 МПа, що виникає в областях кріплення сидіння та на передніх опорах, це приблизно 2.3 кг зусилля на квадратний міліметр.

При гальмуванні, водій, натискаючи на педаль гальм викликає певні навантаження на педальному вузлі та супротивну силу на сидінні, що впливають на раму.

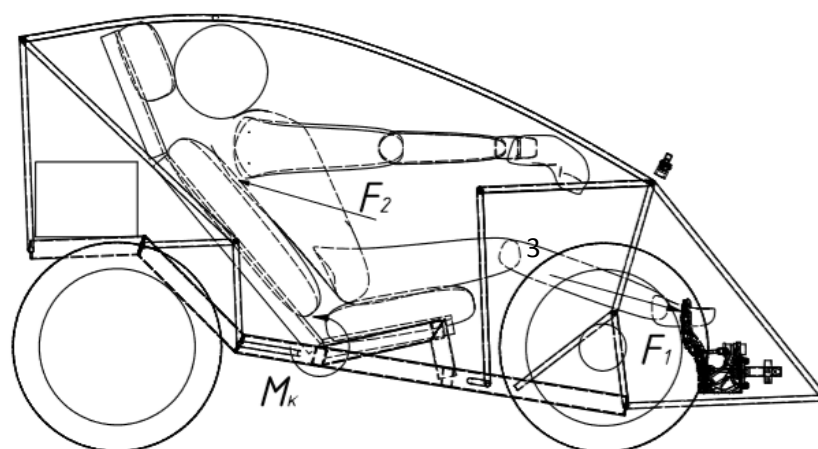


Рисунок 2.16 – реакції що виникають в рамі при гальмуванні водієм

F_1 – сила, що діє на педальний вузол; F_2 – сила, що діє на спинку сидіння;
 M_k – момент крісла

Згідно другої та п'ятої аксіоми кінематики, тіло людини під час гальмування врівноважене силами, які рівні по величині і діють на одній прямій в протилежні сторони. Момент, що виникає при спиранні людиною у спинку сидіння M_k , це реакція крісла на зусилля F_2 .

У [16] зазначено, що зусилля, яке повинно витримувати педаль гальм мінімум 50 Н. Беручи до уваги умови експлуатації в міських умовах та подовження життєвого циклу деталі, приймаємо 200 Н зусилля що діє на педаль та протилежне йому.

Тоді,

$$M_k = F_2 \times 513 \quad (2.7)$$

$$M_k = 200 \times 513 = 102600 \text{ Нмм}$$

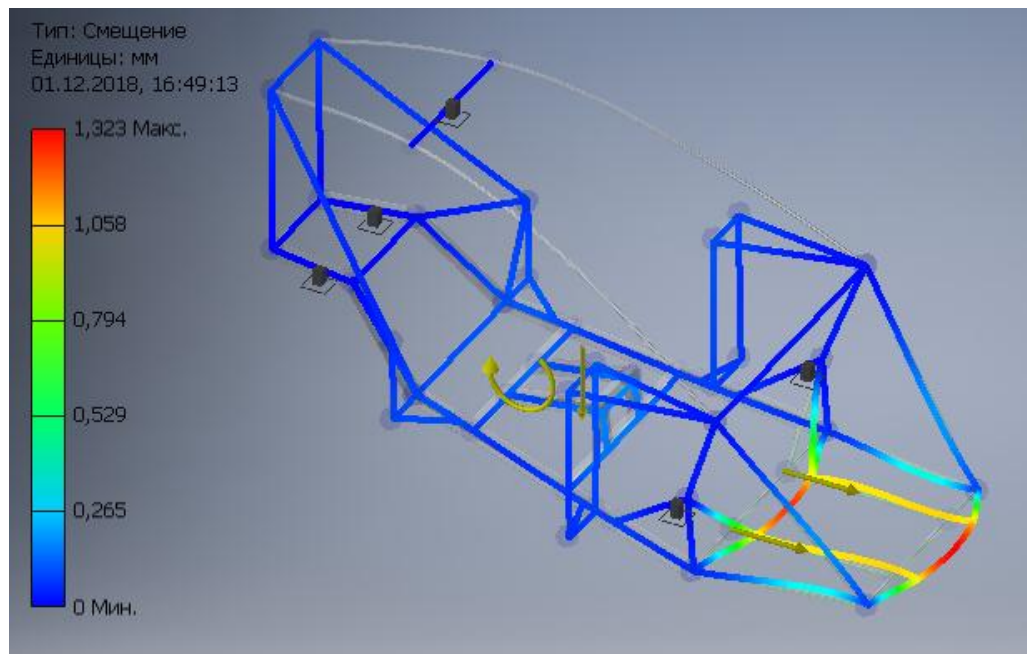


Рисунок 2.17 – симуляція рамної конструкції на зміщення частин під час гальмування

Як видно на рисунку 2.7 максимальне зміщення не перевищує відмітку у 1,3 мм

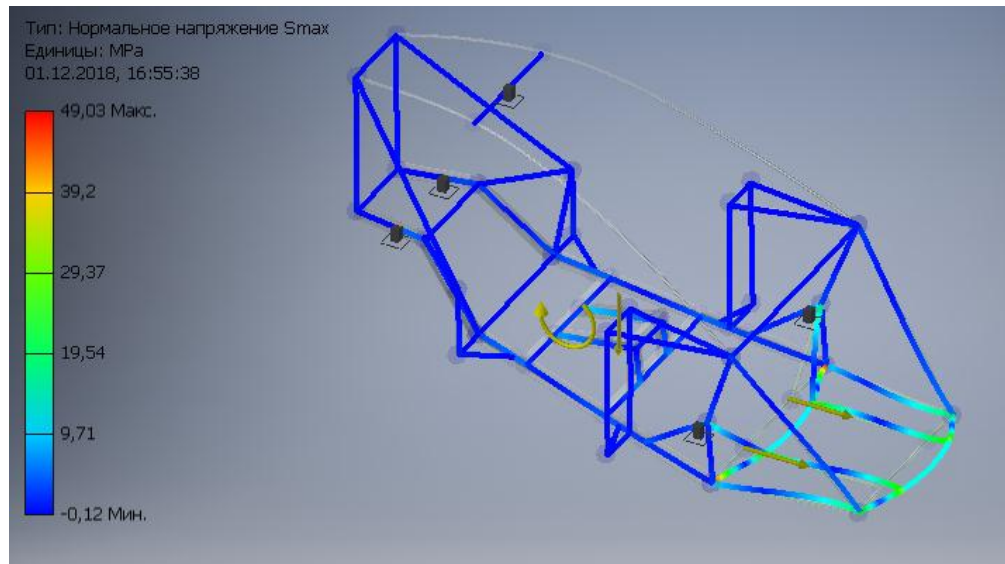


Рисунок 2.18 – нормальне напруження в рамі

При допустимому навантаженні на розтягнення та стискання для алюмінію згідно [22] $[\sigma] < 70 \text{ МПа}$. Тож при гальмуванні, точки кріплення витримують прийняте навантаження у 200 Н.

2.3 Проектування та дослідження основних показників аеродинаміки кузова

2.3.1 Концепція зовнішньої форми

Відомі розробники автомобілів, для підвищення аеродинаміки, тяжіють до використання пластичних округлих форм кузова, при цьому не жертвуючи зовнішнім виглядом та ергономікою транспорту. Проте навіть сьогодні існує проблема оптимальної форми кузова, що містила б у собі ті технічні якості, для зменшення витрат енергоресурсу, та візуальну привабливість для покупця.

Отже, було спроектовано декілька варіантів кузова, з урахуванням аеродинамічних показників в повздовжньому перерізі та ергономічних показників в цілому. В нашому випадку, як для автомобіля для перегонів так і для міського електротранспорту, при проектуванні не є важливим створення притискної сили, тобто ні. Більш важливим є створення аеродинаміки для економії енергоресурсу, тобто максимальному обтіканні.

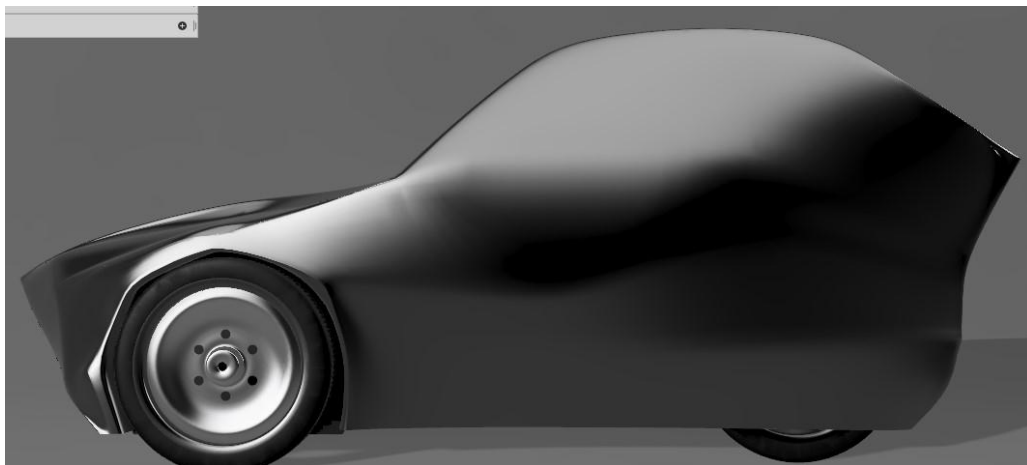


Рисунок 2.19 – перший варіант

Було вирішено позбутися гострих кутів, збільшити плавність переходу між капотом та лобовим дзеркалом та зробити більш плавною задню частину.

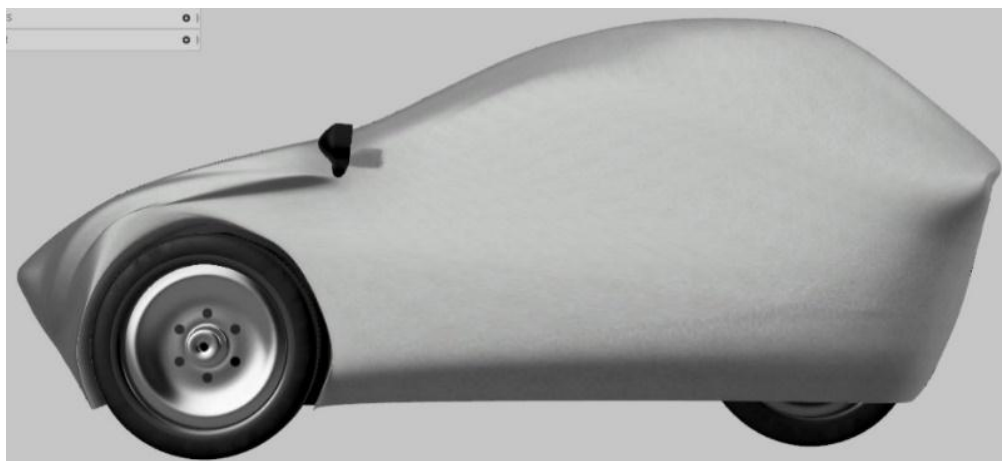


Рисунок 2.20 – другий варіант

Модель потребувала надання форми та зменшення гострих кутів.

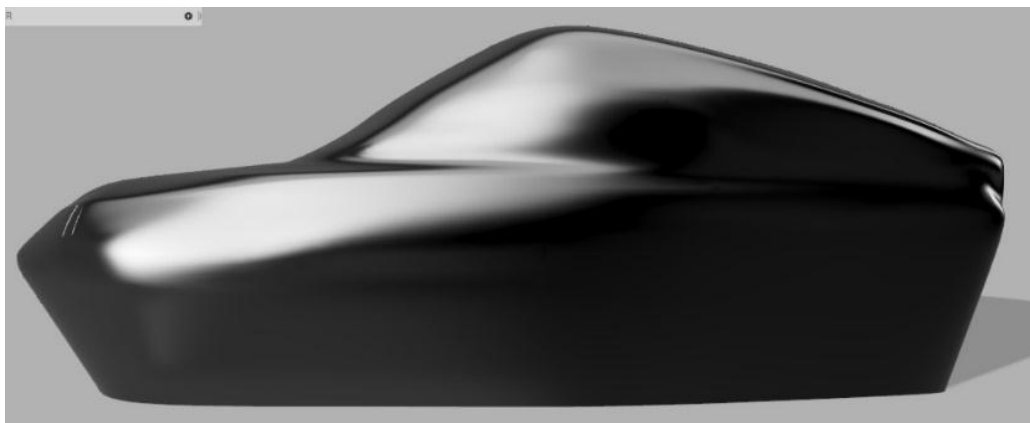


Рисунок 2.21 – третій варіант



Рисунок 2.22 – остаточний варіант проектування авто

2.3.2 Розрахунок основних показників корпусу

Для проектування форми у повздовжньому перерізі необхідно мати уявлення про кути, що формують його та мають вплив на аеродинамічний показник C_x .

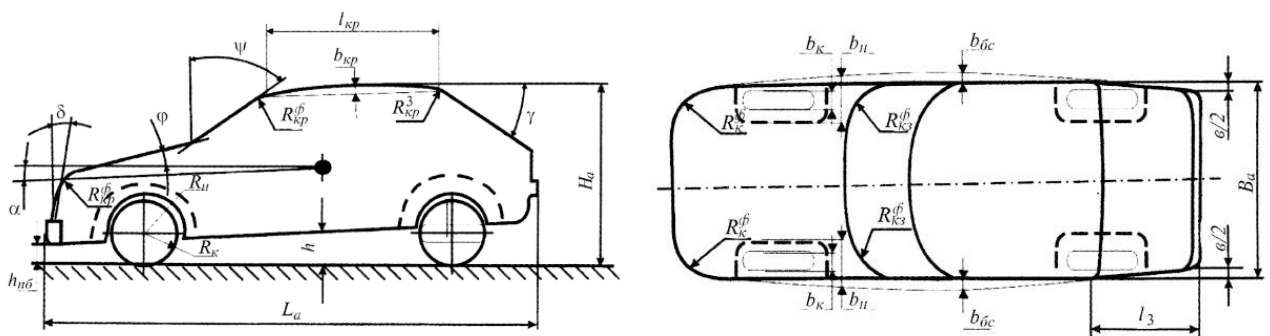


Рисунок 2.23 – основні конструктивні параметри корпусу що впливають на обтічність автомобіля (джерело - А.Н. Евграфов «Аэродинамика автомобиля» Навчальний посібник. Москва 2010)

$\delta, \varphi, \gamma, \psi$ – кути нахилу облицювання носової частини, кришки капоту, вітрового та заднього скла; $R_k, R_{k\phi}$ – радіуси заокруглення фронтальних кромek капоту та даху; α, h – кут тангажу кузова та його кліренс; b, l_3 – величина звуження кузова та його довжина; L_a, B_a, H_a – довжина, ширина та висота автомобіля

Таблиця 2.1

Взаємозалежність аеродинамічного опору автомобіля з конструктивними параметрами корпусу [23]

№	Параметр кузова	Залежність до коефіцієнта C_x
1	Кут нахилу облицювання, δ	$\Delta C_{x\delta} = 1,1 * 10^{-4}(\delta - 9,49)^2 - 9,4 * 10^{-3}$ $\Delta C_{x\delta} = 1,1 * 10^{-4}(60 - 9,49)^2 - 9,4 * 10^{-3} = 0,2712$
2	Кут нахилу кришки капоту, φ	$\Delta C_{x\varphi} = 0,175 - 0,0132(\varphi - 10,48)^2$ $\Delta C_{x\varphi} = 0,175 - 0,0132(13 - 10,48)^2 = 0,0912$
3	Кут нахилу лобового скла, ψ	$\Delta C_{x\psi} = [4,9 * 10^{-2}(\psi + 0,233)]^{1,2} - 0,01$ $\Delta C_{x\psi} = [4,9 * 10^{-2}(65 + 0,233)]^{1,2} - 0,01 = 4$
4	Кут нахилу задньої панелі кузова, γ	$\Delta C_{x\gamma} = (2,66[(0,1 * \gamma - 2) - 0,6]/(1,05 + \{1,7[(0,1 * \gamma - 2) - 0,6] - 4,2\}^2 + \{2,5(0,1 * \gamma - 2) - 0,6\}^4))$ $\Delta C_{x\gamma} = (2,66[(0,1 * 47,6 - 2) - 0,6]/(1,05 + \{1,7[(0,1 * 47,6 - 2) - 0,6] - 4,2\}^2 + \{2,5(0,1 * 47,6 - 2) - 0,6\}^4))$ $\Delta C_{x\gamma} = 5,7456/1,05 + 0,278 + 1575,29 = 0,003$
5	Радіус заокруглення фронтальних кромок капота, $R_{\text{кп}}^{\text{фр}}$	$\Delta C_{xR} = [0,4(\frac{R_{\text{кп}}}{B_a} + 0,0001)]^{1,2} - 5 * 10^{-3}$ $\Delta C_{xR} = [0,4(220/1200 + 0,0001)]^{1,2} - 5 * 10^{-3} = 0,038$
6	Відстань від переднього буфера до дороги	$\Delta C_{xL} = 0,153[(\Delta h_{60}/\Delta h_{6c}) - 0,99(\Delta h_{60}/\Delta h_{6c})^2]$ $\Delta C_{xL} = 0,153[34,6 - 0,99 * (34,6)^2] = 17,6$
7	Подовження кузова	$\Delta C_{xL} = [0,3503(\frac{\Delta L}{L_a} + 0,0372)]^{1/2} - 0,1142$ $\Delta C_{xL} = [0,3503(1 + 0,0372)]^{1/2} - 0,1142 = 0,4885$
8	Кут від'ємного тангажу кузова, α	$\Delta C_{x\alpha} = 0,007\alpha$ $\Delta C_{x\alpha} = 0,007 * 5 = 0,035$
9	Зменшення дорожнього просвіту, h	$\Delta C_{xh} = 0,262[(\Delta h_y/\Delta h_u) - 1,05(\Delta h_y/\Delta h_u)^2]$ $\Delta C_{xh} = 0,262[120 - 1,05 * (120)^2] = 0,39$
10	Звуження кормової частини, b	$\Delta C_{xb} = 0,24(\frac{b}{B_a})$ $\Delta C_{xb} = 0,24(\frac{b}{B_a}) = \frac{146,5}{1200} = 0,122$
11	Випуклість даху кузова, B_d	$\Delta C_{xd} = 2[(B_d/l_d)/5] - 0,003$ $\Delta C_{xd} = 2[(33/811)/5] - 0,003 = 0,013$
12	Випуклість боковин кузова, $B_{\text{бк}}$	$\Delta C_{xb} = 0$
13	Ступінь заглиблення бокового скла в передніх дверях, $\Delta B_{\text{пс}}$	$\Delta C_{x\text{пс}} = 0,0006 * \Delta B_{\text{пс}}$ $\Delta C_{x\text{пс}} = 0,0006 * 287 = 0,1722$
14	Ширина колісної ніші, $B_{\text{кл}}$	$\Delta C_{x\text{кл}}^{\text{ш}} = 0,009 * (B_{\text{н}}/B_{\text{кл}} - 1)$ $\Delta C_{x\text{кл}}^{\text{ш}} = 0,009 * (116/95 - 1) = 0,22$
15	Внутрішній радіус колісної ніші, $R_{\text{н}}/R_{\text{к}}$	$\Delta C_{x\text{кл}}^{\text{р}} = 0,024 * (R_{\text{н}}/R_{\text{к}} - 1)$ $\Delta C_{x\text{кл}}^{\text{р}} = 0,024 * (\frac{608}{559} - 1) = 0,87$

Сила лобового супротиву P_x та момент крену M_x – впливають на поверхню тіла автомобіля, утворюють тиск, дія якого сповільнює його до повної зупинки. Чим більша швидкість руху, тим інтенсивніше зростання аеродинамічного опору. Сила лобового супротиву P_x та момент крену M_x є основною частиною усіх аеродинамічних сил та моментів що розкладені по осі X .

Визначаємо силу лобового опору

$$P_x = 0.5C_x\rho FV^2 \quad (2.1)$$

де, F – площа поперекового перерізу, m^2 ; V – швидкість повітряного потоку, m/s ; ρ – щільність повітря ($1,23 \text{ кг}/m^3$)

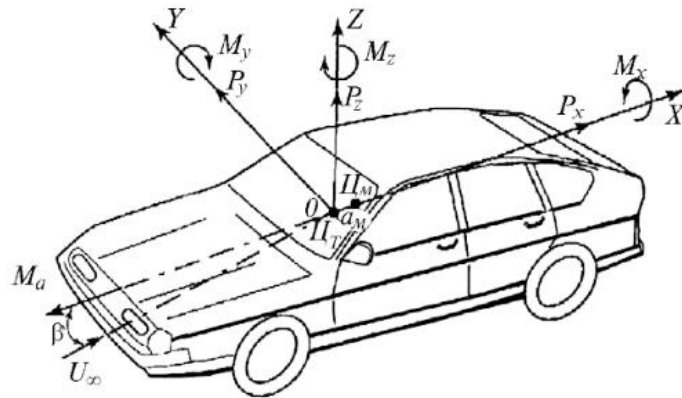


Рисунок 2.24 – схема аеродинамічних сил та моментів що діють на авто
(джерело – [23])

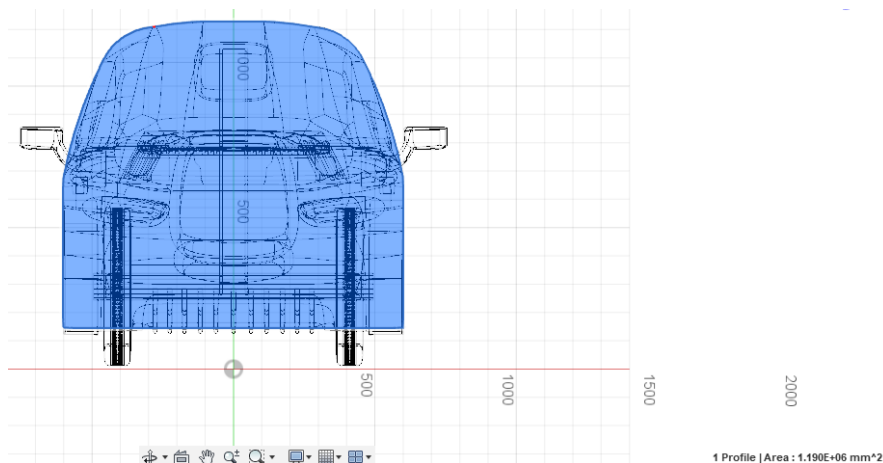


Рисунок 2.25 – площа поперекового перерізу

Побудувавши ескіз у поперечному перерізі автомобіля, у програмному забезпеченні Fusion 360, визначили, що площа поперекового перерізу дорівнює $1,19 \text{ м}^2$.

$$P_x = 0.5 \times 0.10 \times 1,23 \times 1,19 \times 49 = 3,58 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \approx 3,6 \text{ Н}$$

коефіцієнт C_x взятий з Табл. 2.2 с.39 [23] як напівтіло обтічної форми, встановлене із зазором; F – площа поперекового перерізу згідно скетчу зробленому у програмному забезпеченні Autodesk Fusion 360; при нормальних умовах повітря ($t = 15^\circ \text{C}$; $B_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$)

Визначимо момент крену, можливий при бічному потоці повітря у 7 м/с :

$$M_x = 0.5 m_x \rho F V^2 B \quad (2.2)$$

$$M_x = 0.5 \times 0.05 \times 1,23 \times 1,19 \times 49 \times 1,1 \approx 2 \text{ Н} \times \text{м}$$

де, B – колія автомобіля

Число Рейнольдса – базується на відношенні інертності руху течії повітря до його в'язкості. Рівність чисел Re для автомобіля і його моделі характеризує рівність відносин сил тиску і сил в'язкості [15].

$$Re = \frac{V \cdot L}{\eta}, \quad (2.3)$$

$$Re = \frac{7 \cdot 2,8}{14,61 \cdot 10^{-6}} = 1341$$

де,

V – швидкість руху м/с ;

L – довжина авто м ;

η – динамічна в'язкість повітря $\text{Па} \cdot \text{с}$;

Отже, автомобіль рухається у ламінарному потоці, згідно [24] в діапазоні чисел Рейнольдса $Re < 2300$. Визначаємо коефіцієнт гідравлічного опору λ в залежності від характеру потоку. Цей коефіцієнт визначає втрати питомої енергії при переході її в теплоту на ділянках гідравлічних систем, які викликані в'язким тертям [25].

$$\lambda = \frac{A}{Re} \quad (2.4)$$

де, A – переріз потоку

В нашому випадку $B \times H$ це 6×4 метри

$$\lambda = \frac{24}{1341} = 0,018$$

З погляду функціоналу, на фронтальній частині автомобіля доцільним буде наявність дифузора, що сприяє зменшенню лобового тиску. Вирахуємо швидкість потоку повітря, що поглинає площа дифузора.

За допомогою програмного забезпечення, вираховуємо, площа дифузора:

$$S_d = H \times B \quad (2.5)$$

$$S_d = 644 \times 200 = 1,2 \text{ м}^2$$

Знаходимо швидкість потоку повітря на один метр:

$$V_{\text{пот}} = \frac{S_d}{V} \quad (2.6)$$

$$V_{\text{пот}} = \frac{1,2}{7} = 0,17 \text{ м/с}$$

2.4 Симуляція аеродинаміки автомобіля

Аеродинаміка автомобіля була досліджена за допомогою комп'ютерного модулю «Autodesk Flow Design», у програмному забезпеченні Autodesk Inventor що надало нам інформацію щодо критичних точок тиску.

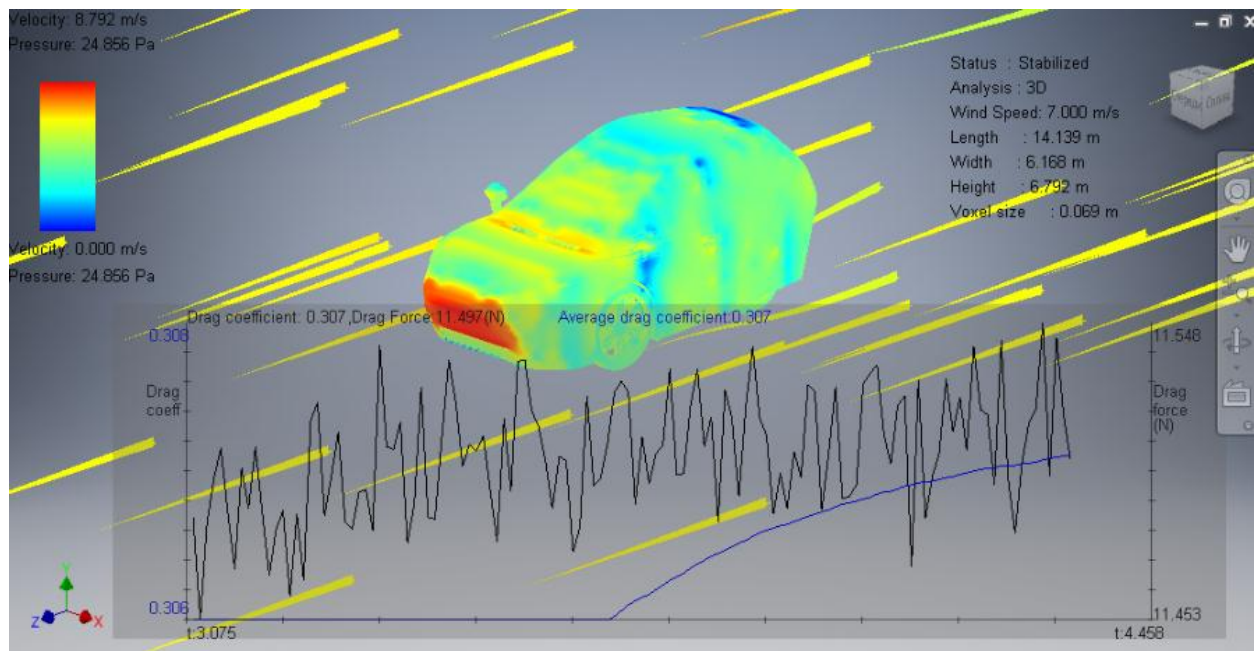


Рисунок 2.26 – аеродинамічна симуляція тиску що діє на автомобіль в поперечному перерізі

Ком'ютерне моделювання надає лише можливість виявити області найбільшого тиску у повздовжньому розрізі автомобіля.

Знаходимо швидкість потоку повітря в дифузорі на один метр, :

$$V_{\text{пот}} = \frac{S_{\text{д}}}{V} = \frac{1,2}{8,792} = 0,15 \text{ м/с}$$

Що показує, дифузор незначною мірою змінює ситуацію з тиском та швидкістю повітря, поглинутого ним. Збільшення площі, зайнятої дифузором спереду та ззаду авто, дозволяє зменшити лобовий супротив в нижній ділянці та направити повітря під днище авто.

Як видно з рисунку 2.16, сила лобового опору має значення 11,497 Н, а показник $C_x = 0,307$. Перерахувавши силу лобового опору з новим коефіцієнтом, отримаємо:

$$P_x = 0.5 C_x \rho F V^2 = 0.5 \times 0.307 \times 1,23 \times 1,19 \times 49 = 11 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \approx 11 \text{ Н}$$

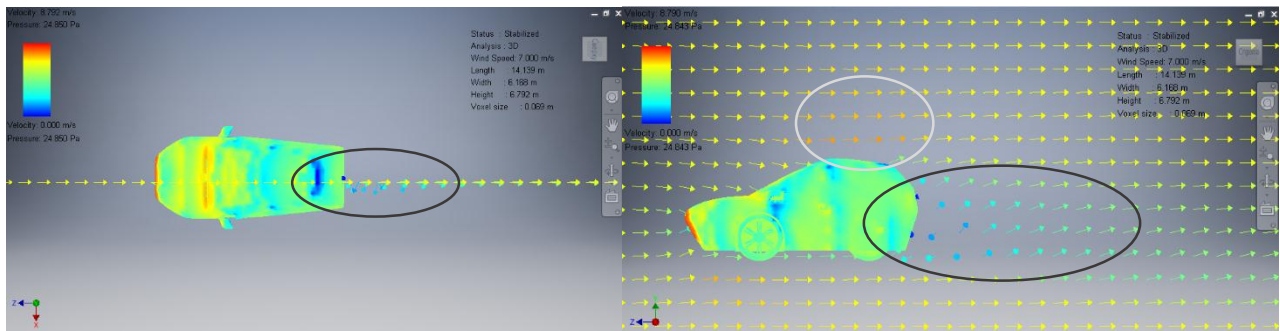


Рисунок 2.27 – спутний слід автомобіля

○ - зона утворення спутного сліду

При русі зі швидкості у 7м/с, через обрізану форму задньої частини автомобіля, позаду нього з'являється вихорі низького тиску, які в свою чергу створюють силу що сповільнює транспорт, так званий спутний слід. При куті нахилу задньої панелі кузова, γ більше ніж 35° , згідно [23] (с. 177) структура спутного сліду двомірна та трьохмірна, зрив потоку відбувається із задньої кромки даху. На рис. 2.15 помітно зони високого тиску на носовій частині авто та зони найшвидшого потоку повітря що промарковані. Критичний потік повітря після зіткнення з лобовим склом вивільнюється над дахом зі швидкістю 8,7 м/с.

Тепер, розглянемо автомобіль при русі у 14м/с тобто 50км/год – допустима швидкість руху транспорту у місті.

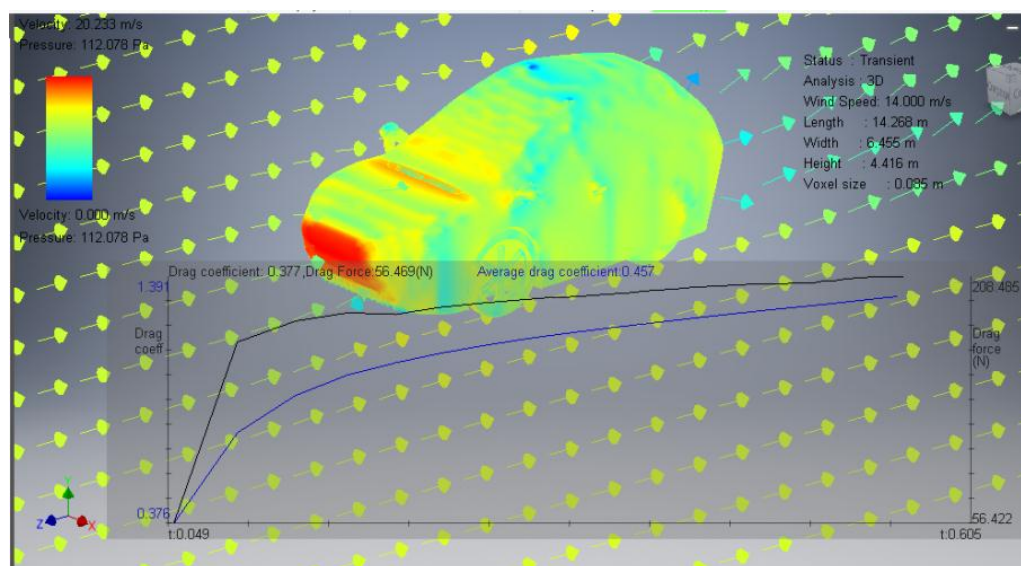


Рисунок 2.28 – Тиск та швидкість повітря при русі у 50 км/год

Порівнюючи з рухом у 7 м/с, коефіцієнт зріс до 0,457, а сила лобового опору зросла до 56,5Н, що відображає зусилля у 5,7 кілограм сила. Максимальний потік повітря – 19,8 м/с, та тиск – 111,9 Па

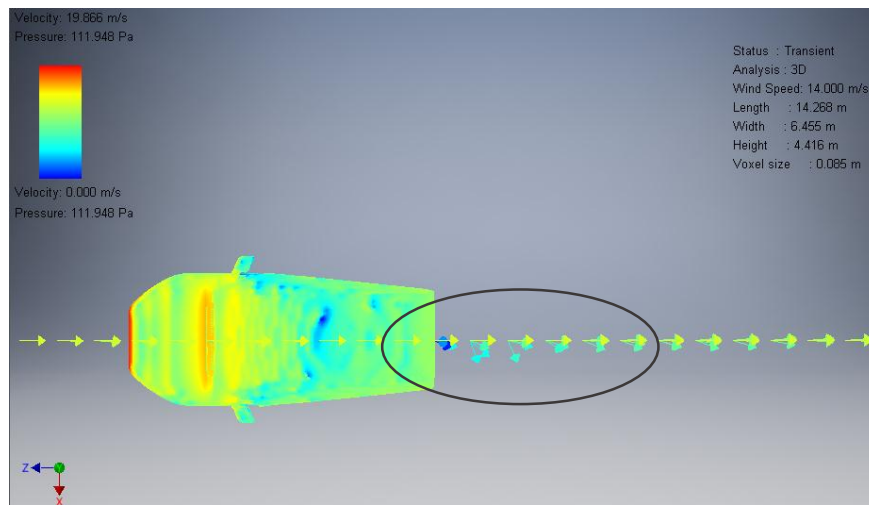


Рисунок 2.29 – Тиск та швидкість повітря при русі у 50 км/год

○ – зона утворення спутного сліду

Також помітне відносне зростання кількості завихрень але не зростання швидкості потоку повітря.

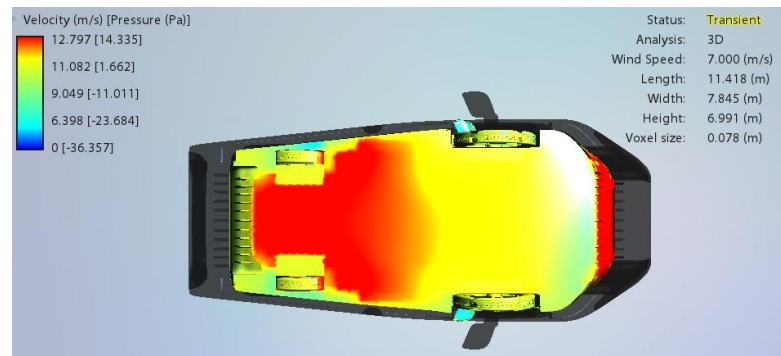


Рисунок 2.30 – аеродинамічна симуляція тиску що діє на днище автомобіля

В цьому випадку на задній частині днища автомобіля виникає максимальний тиск у 14,335 Па це майже півтори кілограми ваги що припадає на задню частину і є максимальною.

Згідно [26] вираховуємо підйомну силу

$$Y = C_y \frac{\rho V^2}{2} S \quad (2.7)$$

де, C_y – коефіцієнт підйомної сили

S – площа профіля

$$Y = 1 \times \frac{1,23 \times 49}{2} \times 2,4 = 72H \approx 7,3 \text{ кг/м}^2$$

$C_y = 1$, оскільки у випадку з автомобілем, профіль розташований рівно горизонтально і не має кута атаки.

2.5 Висновки по розділу

1. Приблизна вага яку має автомобіль з урахуванням основних вузлів – 135,3 кг при зазначеному у [23] допустимий максимум для автомобілів урбан-концепту у 225кг;
2. Навантаження на передню і задню вісь при такій вазі буде розподілено:
 $R_{зв} = 45\text{кг}; R_{пв} = 80 \text{ кг}$
3. Просимульована модель витримує навантаження на розтягнення при статичному аналізі: максимальне зміщенні у 0,8 мм та максимальное навантаження у 22,35 МПа;
4. Навантаження на розтягнення при гальмуванні водієм показало результат максимального зміщення 1,3 мм, а максимальне навантаження 49 МПа;
5. Геометричні параметри кузова слабо впливають на коефіцієнт C_x , особливо при заданій швидкості руху;
6. Автомобіль рухається у ламінарному потоці, згідно [24] в діапазоні чисел Рейнольдса $Re < 2300$;
7. Коефіцієнт аеродинамічного опору C_x при русі у 25 км/год дорівнює 0,307 та сила лобового опору 11 Н, що не є найкращим але достатнім показником для легкового автомобіля;

8. Незначні завихрення через форму задньої частини автомобіля існують, але швидкість потоку повітря в них дорівнює близько 2 м/с, тобто не є значними на такій швидкості.
9. Симуляція показала, що при збільшенні швидкості до 14 м/с коефіцієнт C_x дорівнюватиме 0,457, а сила лобового опору зросла до 56,5 Н

3. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ

3.1 Виготовлення макету автомобіля

Для дослідження режимів роботи автомобіля необхідна наявність прототипів, на яких будуть досліджуватись аеродинаміка. Крім того наявність прототипу є вагомим плюсом при пошуку інвесторів. Працюючий прототип, який здатний рухатись, та виконувати певні роботи може краще донести основну ідею проекту, ніж сухі теоретичні розрахунки. Крім того прототип повинен бути естетично привабливим, так як перше враження складається саме на основі зовнішнього вигляду. Для вирішення поставлених задач можна застосувати масштабний прототип, зменшений у 10 разів. Виходячи із можливостей та виробничої доступності, було прийнято рішення виготови макет шляхом фрезерування деревини МДФ.

Форма автомобіля – симетрична, та була поділена на 4 частини у повздовжньому напрямку, з урахуванням товщини деревини. Товщина плити складає 30 мм. Отже, було вирішено зменшити корпус у 10 разів. Отримали такі розміри виробу : В×Д×Ш 120×280×120мм.

Ріжучий інструмент – циліндрична кінцева фреза – Globus 1007-D8, діаметр фрези та хвостовика – 8 мм, кількість зубів – 2, довжина – 90мм, матеріал – швидкорізальна сталь. Геометричні характеристики наведені на рисунку 3.20. Для чистової обробки застосувалася сферична фреза діаметром 8 мм, кількість зубів – 2, матеріал – швидкорізальна сталь.

Шляхом фрезерування на верстаті з ЧПК надається форма як кузова так і коліс, яка була склеєна після обробки різанням. Після виклеювання форми її необхідно обробити за допомогою абразивного паперу для придання зменшення шорсткості поверхні, після чого її можна фарбувати, або обклеювати плівкою.

Розробка прототипу велася за допомогою CAD-системи Fusion 360. Управляюча програма, режими різання та базування усіх частин що фрезерувалися, виконувалося у програмному забезпеченні ArtCAM Pro.

Таблиця 3.1

Технологічний процес виготовлення макету кузова

№ операції	Назва операції	Обладнання	Інструмент	Зміст
005	Заготівельна	Електролобзик Верстат слюсарний	Полотно пилне	Вирізати заготовки з деревини – 2 листа розміром 260×280мм
010	Фрезерна	FGS 3925	Фреза пазова Ø8мм	Чорнове фрезерування торцевих поверхонь профілю
015	Фрезерна	FGS 3925	Фреза пазова Ø8мм	Чистове фрезерування торцевих поверхонь профілю
020	Фрезерна	FGS 3925	Фреза сферична Ø8мм	Фрезерування зовнішнього рельєфу деталі
025	Фрезерна	FGS 3925	Фреза пазова Ø8мм	Фрезерувати 4 колеса машини – Ø56мм, ширина – 9,5мм
030	Слюсарна	-	-	Склеювання профілів у одну деталь
035	Слюсарна	-	Шкурка шліфувальна	Шліфування деталі вручну
040	Малярна		-	Грунтування деталі
045	Слюсарна	Верстат слюсарний	-	Шліфування деталі вручну
050	Малярна	-		Фарбування деталі

Для виготовлення макету кузова автомобіля була обрана пластина МДФ товщиною 38 мм, та застосований трьох координатний фрезерний верстат із ЧПК, мод. FGS 3925. Основні характеристики станка наведені у таблиці 3.2, згідно до інформації з сайту виробника [27].



Рисунок 3.1 – Верстат FGS 3925, на якому проводилася обробка деталей (<http://itm.kpi.ua/navchannya/studentske-zhyttya/fab-lab-igor-sikorsky-kyiv-polytechnik-institute/>)

Таблиця 3.2

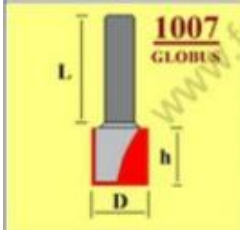
Основні характеристики верстата FGS 3925

Потужність, кВт	0,75
Максимальна швидкість обертання, об/хв	18000
Робоче поле X x Y x Z, мм	390 x 250 x 100
Максимальна швидкість подачі, м/хв	2,5
Габаритні розміри L x B x H, мм	790 x 520 x 640

Таблиця 3.3

Режими різання фрезерних операцій

№ операції	Назва операції	Режими різання				
		Крок, мм	Глибина різання, мм	Робоча подача, мм/хв	Подача врізання, мм/хв	Частота обертання, об/хв
010	Фрезерна	4	4	800	200	15000
015	Фрезерна	4	4	800	200	15000
020	Фрезерна	0,8	1	1200	800	18000



D	h	L	d
8	30	60	8
10	30	60	8
12	30	60	8
14	30	60	8
16	30	60	8
18	30	60	8
20	30	60	8
14	40	80	12
16	40	80	12
18	40	80	12
21	40	80	12
25	16	40	8
30	16	40	8
40	16	40	12
50	16	40	12

Рисунок 3.2 – Геометричні параметри фрези (<https://frezy-globus.ru/kontsevye-frezy-globus>)

Технологічна підготовка деталей до виробництва проводилася у програмі ArtCam. Це програмне забезпечення дозволяє автоматично отримати керуючу програму. Деталі були розташовані на мінімальній відстані у 8 мм, так як це виключає пошкодження деталей про вирізання. Параметри фрези були вказані у ArtCam перед генерацією коду, для того, щоб програма не створила код, при якому деталь буде різатися занадто глибоко. Так само і про обробці сферичною фрезою.

Заготовки на верстаті виставлялися вручну. Спочатку до заготовки із МДФ саморізами прикручувалися листи фанери, так, щоб уникнути зіткнення саморізу та фрези. Паралельність осей верстата та заготовки виставлялася шляхом дотикання інструментом до двох найбільш віддалених точок заготовки, після чого остання фіксувалася, шляхом прикручування листів фанери до ламінату, закріпленого на станку.



Рисунок 3.3 – фрезерування форми на операції 010



Рисунок 3.4 – деталь після операції 030



Рисунок 3.5 – пофарбована модель

3.2 Технологічний процес виготовлення корпусу автомобіля

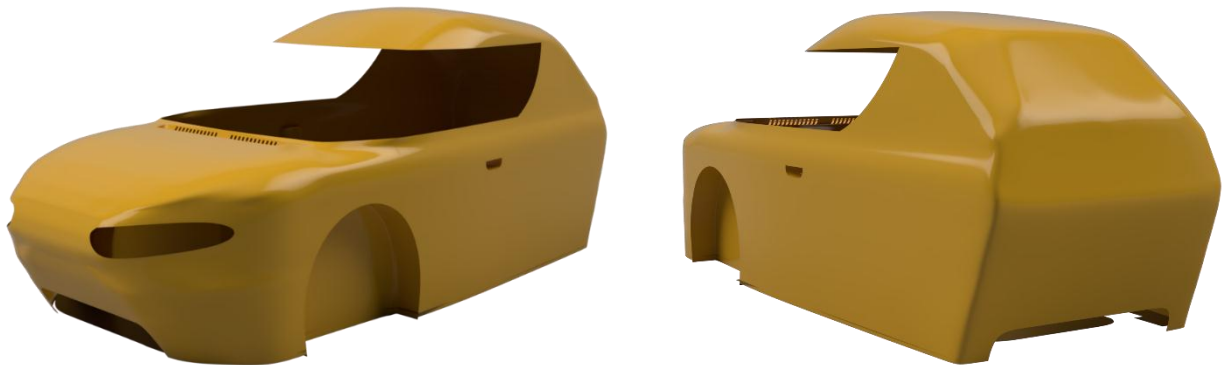


Рисунок 3.6 – 3D модель кузова

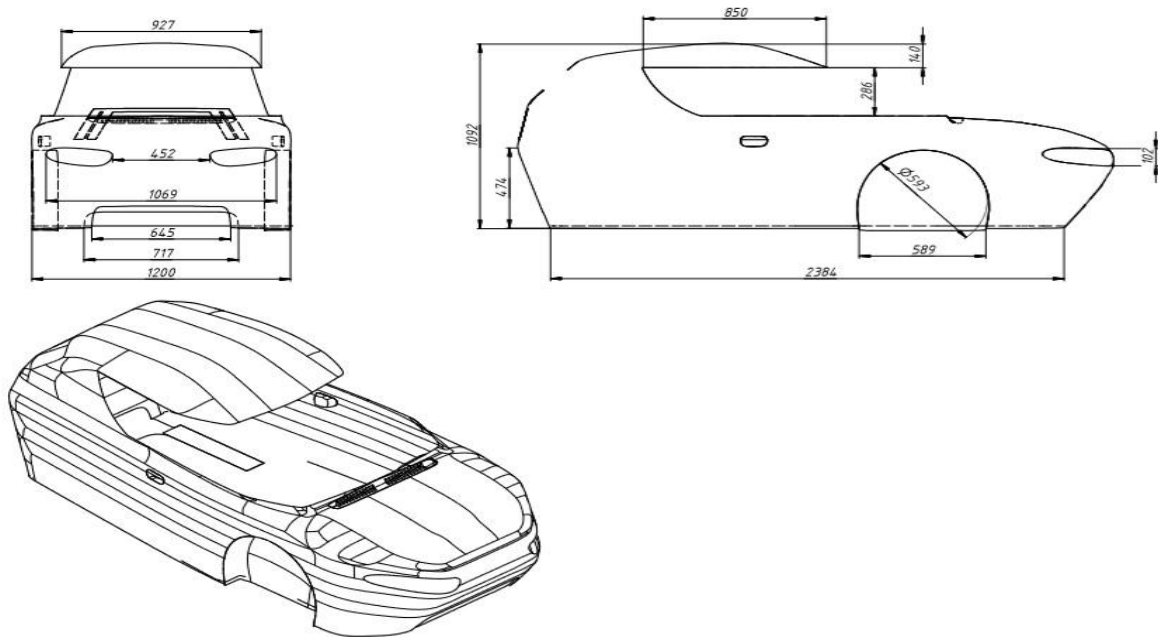


Рисунок 3.7 – ескіз виробу з основними розмірами

Метод ручного викладення застосовують для виготовлення великих виробів: будівельних конструкцій, корпусів човнів, кузовів автомобілів. При цьому методі виключена можливість регулювання вмісту наповнювача. До інших недоліків відносяться:

- великі витрати ручної праці
- високі витрати на матеріал
- тривалий цикл виготовлення виробу.

Перевагою методу є його універсальність, тобто отримання виробів практично будь-яких форм і розмірів. [28]

Отже, для спрощення виготовлення деталі та підвищення технологічності, ділимо виріб на 4 складові деталі так, як показано на рис. 3.

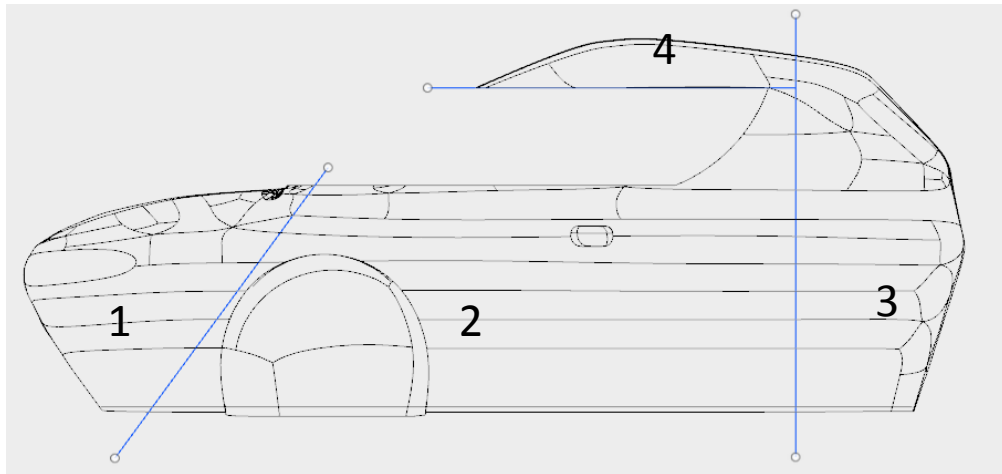


Рисунок 3.8 – схема розподілу виробу на складові деталі

Деталь 1 має складні за будовою сферичні поверхні, тому її треба виготовляти особливо обережно та бажано робити окремо. Виходячи з правил перегонів [29], однією з вимог корпусу автомобіля є можливість швидкого доступу до двигуна та батареї, тож деталь 3 повинна виготовлятися окремо та мати можливість зняти у будь-який момент. Деталь 4 – це дах автомобіля, він встановлюється вже після встановлення скла, тому логічно виготовляти його окремо. Деталь 2, як найскладніша за формою виготовляється також окремо.

3.2.1 Метод ручного викладання

Деталі за формою складні та округлі, що передбачає складність у виготовленні моделі під скловолокно. Така модель буде виготовлена на базі вже готової рамної конструкції під машину. На конструкцію накладають листи пінопласту певних розмірів, зайвий матеріал зрізається. В тих частинах, де форми мають округлі переходи, заливаємо монтажною піною, даємо їй висохнути та зрізаємо зайвий матеріал. Отриману готову форму змащуємо розділюючим воском, а потім красимо гельгрунтом. Після того як усе висохне,

на форму наносимо шар поліефірної смоли та затверджувача та вкладаємо 4 шари скловолокна (1 шар має товщину 0.5 мм). Після чого чекаємо поки все затвердіє, та знімаємо готову деталь. В завершенні на деталь чекає постобробка у вигляді шліфувальних та полірувальних операцій. [29]

Таблиця 3.4

Маршрутний технологічний процес на виготовлення виробу «Кузов автомобіля»

Номер	Назва	Зміст операції
005	Заготівельна	Вирізати по 4 шари скловолокна на кожну деталь певного розміру.
010	Слюсарна	Підготувати форму під викладення скловолокна
015	Малярна	Змастити форми розділюючим воском та гелгрунтом.
020	Слюсарна	Нанести шар поліефірної смоли та затверджувача. Нанести 4 шарів скловолокна на оброблену поверхню.
025	Слюсарна	Притупити гострі кромки, обробити торцеві поверхні.
030	Шліфувальна	Шліфувати деталі
035	Полірувальна	Полірувати деталі
040	Мийна	Промити деталі
045	Контрольна	Проконтролювати базові розміри деталей
050	Слюсарна	Зібрати виріб
055	Малярна	Пофарбувати виріб

Таблиця 3.5

Операційний ТП на операцію 020

Перехід	Зміст	Інструмент	Вимірювальний інструмент
1	За допомогою кисті на підготовлену форму нанести суміш поліефірної смоли та затверджувача	Кисть-макловица КМА195 ГОСТ 10597-87 [30]	—
2	Наносимо по чергово 4 шари скловолокна	Валик малярний універсальний ГОСТ 10831 – 87; Валик малярний 10831-87 [31]	

Механічне оброблення деталі виконується на операціях 030 – Шліфувальна та 035 – Полірувальна для отримання точних та гладких поверхонь.

Таблиця 3.6

Підбір обладнання та інструменту на операції 030 та 035

Операція	Обладнання	Інструмент
030	Ексцентрикова шліфувальна машина Bosch PEX 220A	Круг шліфувальний Klingspor PS 18 ЕК Д125 Р120
035	Ексцентрикова шліфувальна машина Bosch PEX 220A	Круг полірувальний хутряний 3М Ш125

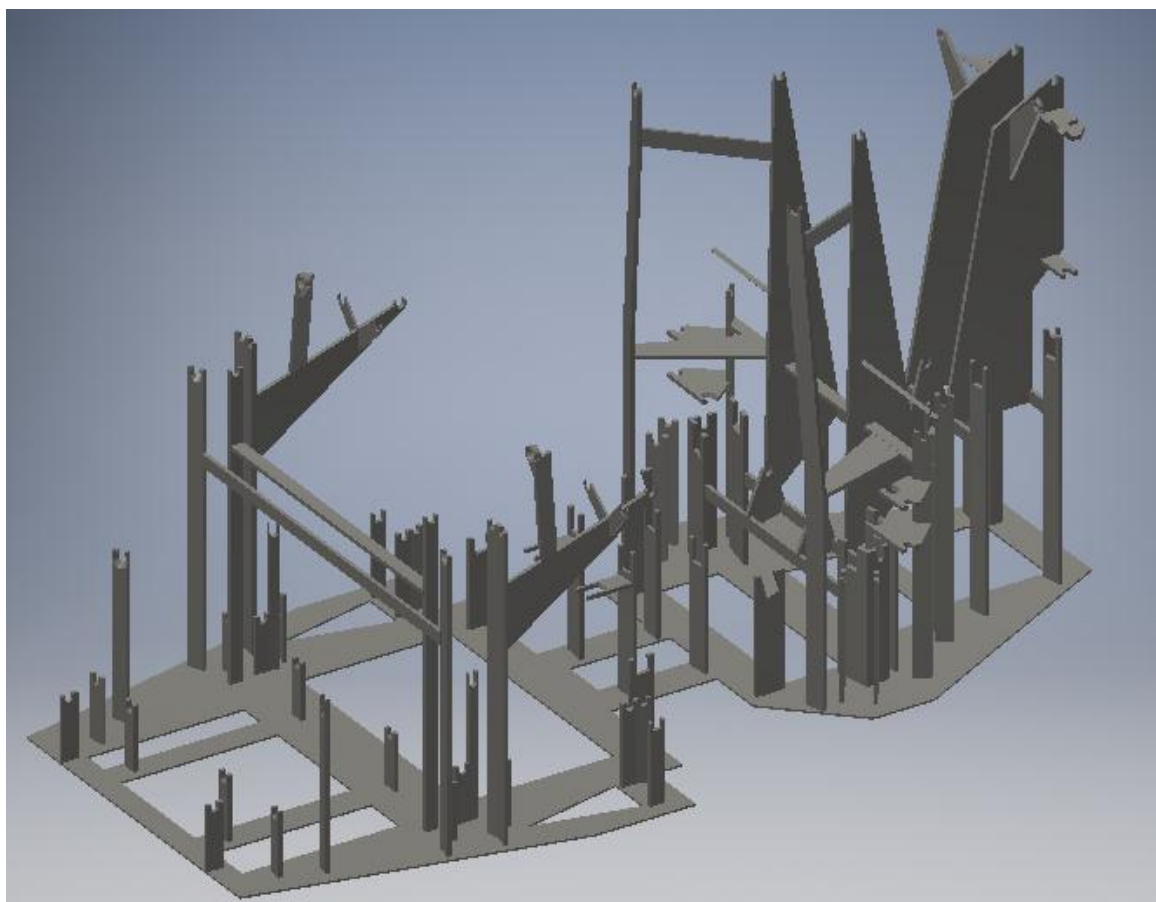
3.2.2 Технологія складання

Складання виробу починається з базового елемента, в нашому випадку – це деталь 2 (рис. 3.8). Поєднуємо деталь 1 з базовою деталлю за допомогою епоксидного клею 9904 Ероху-plastic, далі, на промислові защіпки, кріпимо до базової деталі – деталь 3. Після встановлення скла, так же на защіпки приєднуємо деталь 4. [29]

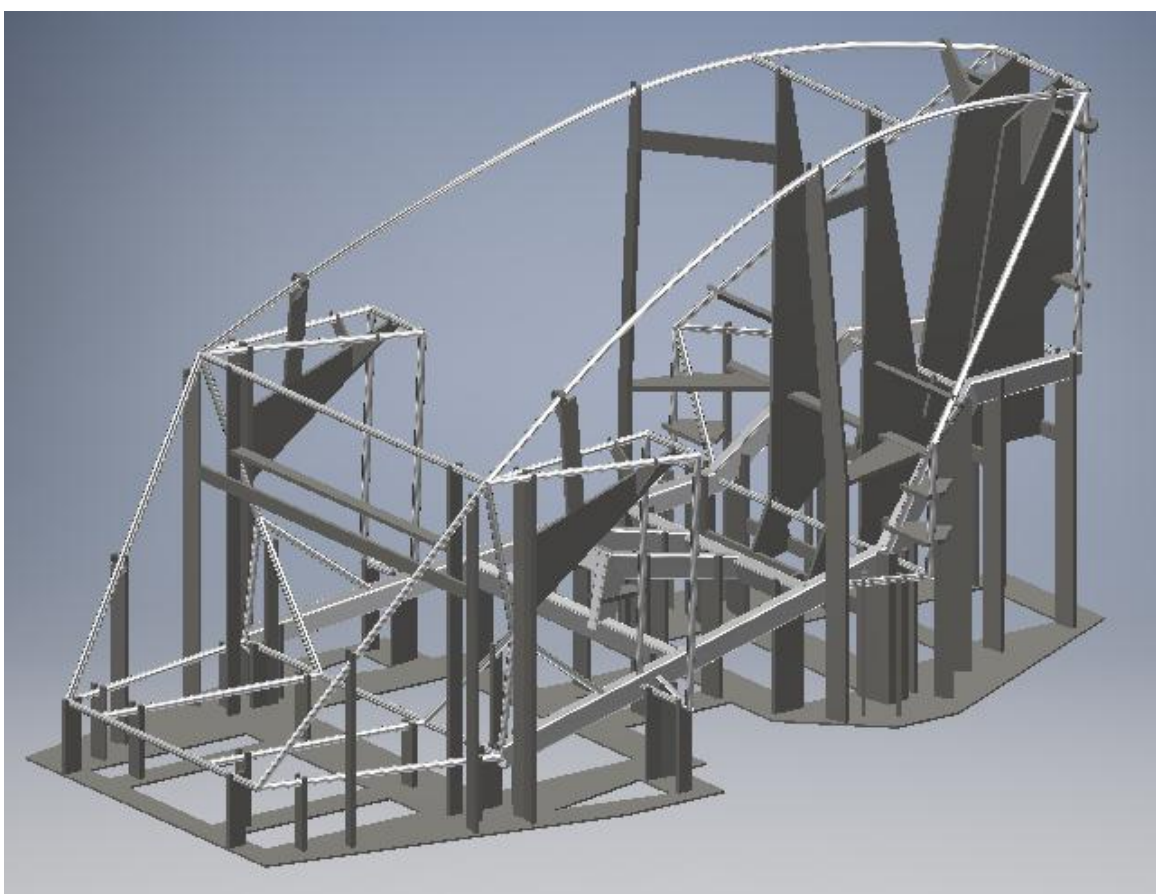
3.3 Проектування стапеля для виготовлення рами

Згідно [32] стапель – це обладнання для відновлення рами та геометрії кузова автомашини, пристрій, який дозволяє виправляти кузов до нормативних параметрів шляхом додатка різноспрямованих зусиль. В нашому випадку це установка для точного позиціонування складових для зварювання просторової рами. Для цього було обрано листовий метал товщиною у 10 мм, який з легкістю витримає алюмінієву трубну конструкцію. Стапель спроектовано під вже готову 3D модель рами.

Технологія виготовлення починається з порізки листового металу на шаблони, які потім зварюються у послідовності на металеву плиту.



а)



б)

*Рисунок 3.9 – загальний вигляд стапеля:
а – без рами; б – з рамою*

Плита також має товщину 10 мм і вирізані зайвий матеріал, який не приймає участь у сприйнятті напружень.

3.4 Виготовлення макету рами

Для наглядного демонстрування конструкції рами, було вирішено виготовити макет шляхом адитивних технологій. Макет друкувався технологією FDM (Fused Deposition Modeling), тобто шляхом наплавлення шарів пластику один на одний. Використовуємо програму Flash Print для підготовки вже готової CAD моделі. Розміщення моделі зображено на рис. 3.10.

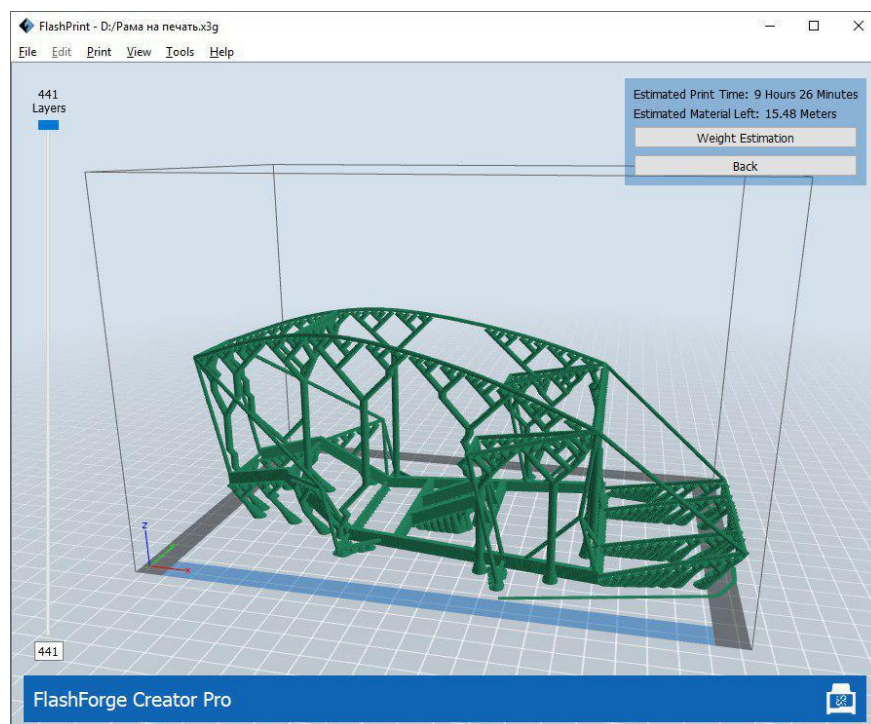


Рисунок 3.10 – Позиціонування моделі на робочій площині

Для друку був обраний пластик ABS, що є найбільш розповсюдженим та найдешевшим видом пластику, підтримки також виготовлені з ABS. На рисунку 3.10 показані основні характеристики процесу друку:

- Приблизний час друкування 9 год. 26 хв.;
- Приблизна довжина пластикового прутка 15,48 м.

3.5 Проведення експерименту

Для підтвердження даних, отриманих при підрахунках сили лобового опору та його коефіцієнту, проводимо дослід макету автомобіля у аеродинамічній трубі. Аеродинаміка автомобіля була досліджена спочатку за допомогою комп'ютерного моделювання у програмному забезпеченні «Autodesk Flow Design», що надало нам інформацію щодо критичних точок тиску. З CAD моделі, виготовили на кафедрі Інтегрованих технологій машинобудування макет кузова, у масштабі 1:10. Макет досліджувався у лабораторії, на кафедрі Прикладної гідромеханіки та мехатроніки в аеродинамічній трубі при сприянні д.т.н., професора Ковальова Василя Анатолійовича.

Технічні характеристики аеротруби:

- розміри робочої площі В×Ш×Д, мм	– 790×790×1000
- площа поперекового розрізу сопла	– 0,62м ²
- діаметр вентилятора	– 1200 мм
- число лопатей вентилятора	– 8
- потужність електродвигуна	– 3,5 кВт

Характеристики випробуваної моделі:

В×Д×Ш	– 120×280×120 мм
Матеріал	– Деревина МДФ
Дорожній просвіт	– 12 мм



Рисунок 3.11 – позиціонування

На рисунку 3.10 зображено розташований у аеродинамічній трубі макет, на який наклеєні ліпкі стрічки, що відображають рух повітря по поверхні автомобіля. На передній частині автомобіля, чітко видно, стрічки щільно прилягають до моделі, що каже про плавний рух повітря. На задній частині, стрічка з боку на даху, показують наявні завихрення із-за різкої форми профілю авто.

Фізичний експеримент надав інформацію щодо лобового тиску та візуальне представлення обтікання боліду повітрям. Для проведення експерименту, в масштабній моделі вздовж осі x лобової частини було висвердлено 5 наскрізних отворів, через які потім проведені трубки. Трубки з'єднувалися з диференційним манометром, шкала якого вимірює в одиницях: міліметр водного стовпчика. Кожна з трубок по чергово, під час продування під'єднується до манометра. Похибка таких вимірювань досягає до 25%. Показник манометра під час випробування в усіх п'яти точках коливався в межах 1 мм. вод. стовпа. Це означає, що сила лобового опору в точках коливається в межах $9,8 \text{ Н/мм}^2$.

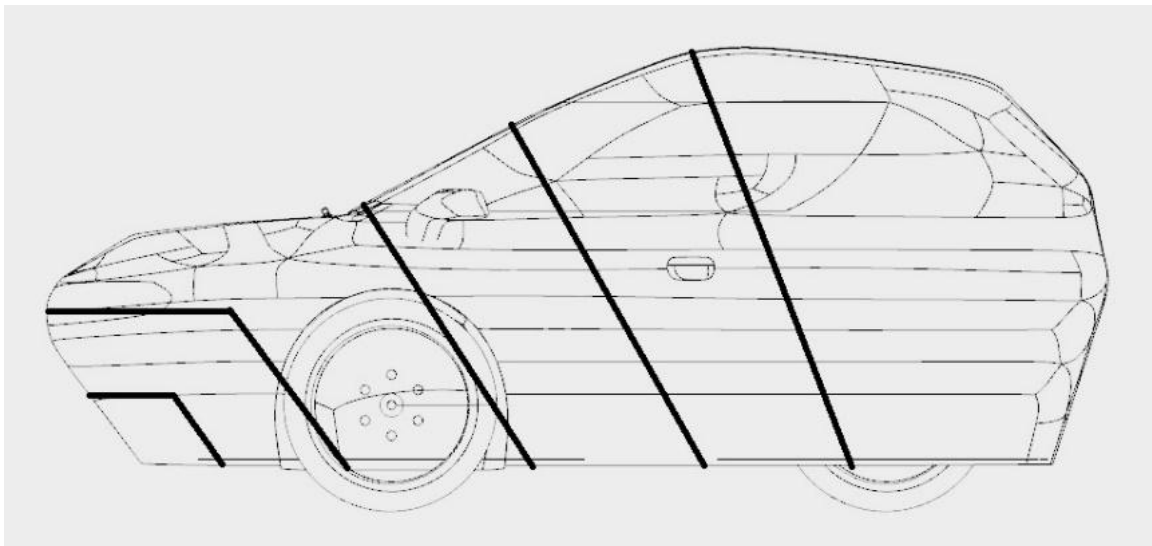


Рисунок 3.12 - схема розміщення отворів

3.6 Висновки по розділу

1. Створений масштабний макет електромобіля урбаністичного концепту, за допомогою якого було досліджено аеродинаміку. Кузов макету фрезерувався із деревини МДФ на фрезерному верстаті FGS 3925;
2. Проведений аеродинамічний дослід підкреслив результати симуляції;
3. Запропоновано технологію виготовлення кузова автомобіля зі склотканини.
4. Спроектовано та виготовлено макет рами автомобіля за допомогою адитивних технологій FDM (Fused Deposition Modeling).
5. Запропоновано модель стапеля для виготовлення рами з металу.

4. СТАРТАП - ПРОЕКТ

Стартап як форма малого підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок: із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн. Стартап-проект вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає. Проте створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 10% до 20%. Головне завдання стартап проекту - перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов. Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів.

4.1 Опис ідеї проекту

Пропонується створити економічний та екологічний транспорт для участі у перегонах Shell Eco-Marathon урбаністичного концепту. Автомобіль створюється для зручного пересування у міських умовах транспортного руху, який може бути задіяний як персональний транспорт, так і транспорт для перевезення малогабаритного вантажу. Даний продукт має вигоди, які зацікавлять користувача: не споживає багато ресурсу, компактність транспортного засобу, відносна дешевизна порівняно з конкуруючими фірмами, функціональність та зручність у використанні (ергономічність).

Таблиця 4.1

Опис ідеї стартап- проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення екологічно чистого, економічного та ергономічного транспорту	1.Персональний транспорт	1.Не споживає багато ресурсу (економічність).
	2.Транспорт для змагань	2. Компактність
	3. Доставка мало-габаритних товарів	3. Відносна дешевизна
		4. Функціональність
		5. Зручне використання

4.1.1 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї.

Серед техніко-економічних властивостей транспортного засобу можна виділити чотири основних: максимальна швидкість руху; коефіцієнт аеродинамічного опору; потужність силової установки; матеріал корпусу.

В якості прямих конкурентів було розглянуто топ 3 автомобіля, які брали участь в SHELL ECO-MARATHON та використовували електричні двигуни.

Таблиця 4.2

Прямі конкуренти [8]

Ранг	Номер №	Назва команди	Країна	Організація	Тип закладу	Категорія змагання	Вид енергії	Найкраща спроба (км/кВтг)	Спроба 1 (км/кВтг)	Спроба 2 (км/кВтг)	Спроба 3 (км/кВтг)
1	701	SolarCarSolutions	Франція	ISEN Toulon	University	Urban Concept	Battery - electric	186.9	155	174.3	186.9
2	714	TUfast Eco Team	Німеччина	Technische Universitaet Muenchen	University	Urban Concept	Battery - electric	162.4		162.4	
3	702	Evi Neuruppin	Німеччина	Evangelische Shule Neuruppin	School	Urban Concept	Battery - electric	138.8		138.8	

Порівняльний аналіз показників є підґрунтям конкурентоспроможність нашого виробу перед товаром конкурентів. Наш проект має сильну сторону тільки у максимальній швидкості руху – 30 км/год. Також нейтральні сторони відзначаємо у коефіцієнті аеродинамічного опору – показник 0,28 та у потужності силової установки - два двигуна, потужністю по 0,25 кВт кожна. Маємо також слабку сторону - це матеріал корпусу, а саме скловолокно.

Таблиця 4.3

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристи ки ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтрал ьна сторона)	S (сильна сторона)
		Наш проект	Конк урент 1	Конк урент 2	Конк урент 3			
1.	Макс. швидкість руху, км\год	40	25	20	28	-	-	+
2.	Коефіцієнт аеродинамічно го опору, Cd	0.35	0.25	0.37	0.25	-	+	-
3.	Потужність силової установки, кВт	0.9	0.7	2x0.4	2x0.2	-	-	+
4.	Матеріал корпусу	Склово локно	Карбо н	Моно кок(п ласти к)	Склов олокн о	+	-	-

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

За допомогою проведення аудиту технології можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару). Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту:

При виготовленні екологічного автомобіля головною задачею виступає зниження викидів продуктів горіння в атмосферу. Проблема викидів у

атмосферу вирішується шляхом заміни двигунів внутрішнього згорання на електричний двигун. Такі технології вже існують та доступні для реалізування.

При виготовленні економічного автомобіля головними задачами виступають зниження кількості дорогих деталей, використання продукції вітчизняних виробників, зниження споживання двигуном електроенергії. Основна проблема споживання вирішується шляхом оптимізації конструкції двигуна. Така технологія наявна і доступна, але потребує доопрацювання.

При виготовленні ергономічного автомобіля головною проблемою є недосконалість форм корпусних та функціональних деталей, що знижує привабливість продукту. Така проблема вирішується підлаштуванням цих форм під середній показник потреб покупця в ергономіці автомобіля. Така технологія наявна та доступна, але потребує доопрацювання.

Таблиця 4.4

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Зробити екологічний автомобіль	Заміна ДВЗ на електричний двигун	Наявні	Доступні
2.	Зробити економічний автомобіль	Оптимізація конструкції двигуна	Наявні, але необхідно модифікувати	Доступні
3.	Зробити ергономічний автомобіль	Підлаштування конструкції форм корпусних та функціональних деталей під зручність споживача	Наявні, але необхідно модифікувати	Доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: усі три технології доступні та наявні на ринку				

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Наразі, в Україні, попит на електрокари дещо низький, через цінову політику постачальників. Також, не створені зручні умови для заряджання

таких автомобілів. Але ключовим фактором привабливості даного продукту є більш низька вартість електроенергії. Загальний обсяг продаж 18 млн USD в рік, при чому динаміка ринку зростає. Обмеженнями для входу на ринок - єдині вимоги до конструкції та технічного стану колісних транспортних засобів, що експлуатуються. Середня норма рентабельності на ринку є 10%. Тож, ринок є доволі привабливим для входження за попереднім оцінюванням. Серед специфічних вимог, виділимо вимоги для колісних засобів групи L6 - Чотириколісний транспортний засіб, маса якого без вантажу та/або пасажирів не перевершує 350 кг без урахування маси акумуляторних батарей (у разі електричної силової установки), максимальна проектна швидкість якого, за будь-якої силової установки, не перевершує 45 км/год і робочий об'єм двигуна якого, у разі двигуна внутрішнього згоряння з іскровим (примусовим) запалюванням не перевершує 50 см³, або максимальна потужність (нетто) не перевершує 4 кВт, у разі інших типів двигуна внутрішнього згоряння, або чия максимальна потужність нетто не перевершує 4 кВт у разі електричних двигунів. [27]

Таблиця 4.5

Попередня характеристика потенційного ринку стартап - проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5-10
2	Загальний обсяг продаж, USD	18 млн в рік(Україна)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Єдині вимоги до конструкції та технічного стану колісних транспортних засобів, що експлуатуються
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги для колісних засобів групи L6 [33]
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	10%

4.3.1 Потенційні клієнти

Потенційними групами клієнтів є люди з розвинутих країн, великих міст та кожна людина, зацікавлена в збереженні своїх коштів. Споживачі що потребують екологічний та компактний транспорт, висувають такі вимоги, як

якість продукту, гарантійне обслуговування, дешевизна та невеликі габарити. Щодо економічності, то насамперед, вимогою є низька витрата енергії.

Таблиця 4.6

Характеристика потенційних клієнтів стартап - проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Екологічність	Люди з розвинутих країн	Прискіпливість до технічних показників	Якість, гарантія, дешевизна, малі габарити
2	Компактність	Люди з великих міст	Різність у думці щодо основних габаритних розмірів	
3.	Економічність	Кожна людина, зацікавлена в збереженні коштів, особливо важливо на змаганнях	Різність у сприйнятті економічних показників як ефективних	Мале використання енергії

4.3.2 Аналіз ринкового середовища

Маючи інформацію про потенційних груп клієнтів, визначаємо фактори, що перешкоджають ринковому впровадженню продукту. Загрозами цих факторів є потреба значних коштів у обслуговуванні автомобіля, неможлива подорож на далекі дистанції цим транспортом, наявність тільки одного місця в машині, не вподобання зовнішніх форм потенційним покупцем та конкуренція серед зростаючого рику виробників та постачальників електромобілів.

Таблиця 4.7

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Обслуговування автомобіля	Потребує значних коштів	Підвищення рівня використання стандартизованих деталей
2.	Мала ємність батареї	Неможлива подорож на далекі дистанції	Встановлення власних електрозарядок між містами
3.	Пасажирський фактор	Наявність тільки одного місця в машині	Вдосконалення конструкції салону

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
4.	Дизайн автомобіля	Не вподобання зовнішніх форм	Детальний аналіз вподобань клієнтів, потужна рекламна компанія
5.	Конкуренція	Зростаючий ринок електромобілів	Підвищення якості товару

Фактори що сприяють ринковому впровадженню продукту та їх можливості:

- збільшення продажів через популяризацію електротранспорту різними шляхами;
- вихід на міжнародний ринок, та набуття брендом популярності серед населення.

Кожен з факторів означає можливості забезпечити необхідні темпи обороту капіталу та здатність впливати на інших агентів ринку, диктуючи їм власні умови співпраці.

Таблиця 4.8

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Збільшення продажів	Наявність шляхів популяризації електротранспорту	Створення мережі електрозаправок
2.	Міжнародний ринок	Можливість продажу автомобіля на територіях інших країн	Збільшення обсягів виробництва, сертифікація, згідно вимог локального ринку
3.	Популярність	Набуття брендом популярності серед населення	Розширення модельного ряду, створення нових модифікацій, збільшення виробничих потужностей

4.3.3 Аналіз пропозиції

Загальні риси конкуренції на ринку: Внутрішньогалузева міжнаціональна олігополія, з ціновими конкурентними перевагами та не марочною інтенсивністю.

Таблиця 4.9

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста	Олігополія. Проявляється у наявності великої кількості компаній-виробників.	Головним критерієм, що буде вдовольняти покупця - якість продукції (Використання якісного матеріалу та точного обладнання)
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний/національний/...	Міжнаціональний.	Створення потужної бази для виходу на міжнародний ринок. Посилення маркетингової та рекламної кампаній
3. За галузевою ознакою- міжгалузева/ внутрішньогалузева	Внутрішньогалузева	Вдосконалення зовнішніх параметрів
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно- родова - товарно- видова - між бажаннями	Між бажаннями	Закріплення товару на ринку як впевненої марки для покупця
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Цінова	Оптимізації конструкції, тим самим буде знижена вартість
6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	Не марочна	-

4.3.4 Аналіз умов конкуренції в галузі

Після аналізу конкуренції проводимо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі. У висновку отримуємо, що дуже інтенсивна конкурентна боротьба за споживача та техніко-економічні показники серед прямих конкурентів, терміни виходу на ринок приблизно однакові - початок змагань, постачальники диктують на ринку умови якості виготовлення продукту, його ціну та дизайн, клієнти також диктують умови роботи на ринку (Ціна,

комфорт). І серед товарів-замінників є загрози, такі як недовіра клієнтів до нових технологій та недостатня їх ознайомленість з маркою та компанією нового виробу.

Таблиця 4.10

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	- ISEN Toulon; - Technische Universitaet Muenchen; - Evangelische Schule Neuruppin	- Невеликий об'єм виробництва; - Велика конкуренція; - Слабке стимулювання бюджету, законодавчі обмеження, наявність товарних знаків, доступ до каналів розподілу, розмір капіталовкладень	- Перевірена марка або компанія; - Гарантія якості продукту, диференція витрат, змінні витрати постачальників, значення розміру поставок для постачальників	- Диференція витрат, змінні витрати постачальників, концентрація постачальників, значення розміру поставок для постачальників	- Лояльність споживачів, ціни, змінні витрати
Висновки :	Дуже інтенсивна конкурентна боротьба за споживача та техніко-економічні показники	- є можливості входу в ринок - є потенційні конкуренти, приблизно однакові строки виходу на ринок, на початок змагань	- Постачальники диктують умови роботи на ринку. Умови якості виготовлення продукту, його ціну та дизайн	Клієнти також диктують умови роботи на ринку. Ціна, комфорт	- Недовіра клієнтів до нових технологій; - Недостатня ознайомленість з маркою та компанією

4.3.5 Перелік факторів конкурентоспроможності

Таблиця 4.11

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Економічність	Більш легка конструкція автомобіля, забезпечує меншу витрату енергії
2.	Ергономічність	Обтікання форми корпусу
3.	Енергоємність	Ємкість батареї автомобіля

4.3.6 Аналіз сильних та слабких сторін

По балах видно, що рейтинг товару по економічності найнижчий, середню позицію має показник ергономічності, а найбільшу кількість балів має енергоємність автомобіля.

Таблиця 4.12

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товару-конкурента у порівнянні з Evangelische Shule Neuruppin						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Економічність	3		+		+		+	+
2	Ергономічність	4				+	+		+
3	Енергоємність	5			+		+	+	+

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін). Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складався на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

4.3.7 SWOT-аналіз стартап-проекту

Таблиця 4.13

SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> - економічність; - екологічність; - ергономічність 	<ul style="list-style-type: none"> - обслуговування автомобіля; - енергоємність; - наявність тільки одного місця в машині
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> - вихід на міжнародний ринок; - подальша оптимізація автомобіля; - наявність шляхів популяризації електротранспорту 	<ul style="list-style-type: none"> - зростаючий ринок електромобілів; - не вподобання зовнішніх форм.

4.3.8 Альтернативи ринкової поведінки

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 4.14

Альтернативи ринкового впровадження стартап - проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Олігополія	Просто та ймовірно	Короткі

Для виведення стартап-проекту на ринок електрокарів, пропонується альтернативна ринкова поведінка – олігополія. При такій поведінці просто та ймовірно отримати ресурси в умовах широкої конкуренції та коротких строках.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

4.4.1 Визначення стратегії та охоплення ринку

Цільовими групами, на які націлений наш електрокар, виходячи конструктивних параметрів, та аналізу попередніх розділів, можна вважати:

- Люди, що проживають у містах;
- Люди з активним способом життя (підприємці, робітники служб доставки);
- Люди одинаки

Таблиця 4.15

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Люди, що проживають у містах	Повна готовність сприймати продукт	Зараз спостерігається зростаюча тенденція	Кількість конкурентів постійно зростає	Вихід у сегмент доволі складний але реальний
2.	Люди з активним способом життя (підприємці, робітники служб доставки)	Часткова готовність сприймати продукт	Зараз спостерігається зростаюча тенденція	Кількість конкурентів зростає в невеликій кількості	Вихід у сегмент дуже складний
3.	Люди одинаки	Недостатня готовність сприймати продукт	Зараз спостерігається спадаюча тенденція	Кількість конкурентів залишається стабільна	Вихід у сегмент доволі складний але реальний
Які цільові групи обрано: люди, що проживають у містах					

4.4.2 Формування базової стратегії розвитку

Базовою стратегією розвитку була вибрана стратегія диференціації, оскільки в даному проекті команда надає автомобілю відмінних властивостей та параметрів, відмінних від конкурентів та які задовольняють потреби цільових груп потенційних споживачів. Вибрана стратегія розвитку - ринкове позиціонування.

Таблиця 4.16

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1.	Надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів	Ринкове позиціонування	Знижує ступінь замінності товару, посилює прихильність марці, зменшує чутливість до ціни і тим самим підвищує рентабельність	Стратегія диференціації

4.4.3 Вибір стратегії конкурентної поведінки

Вибрана стратегія пояснюється виходом на ринок продукту, який спроможний конкурувати з лідером. Теоретично можна прийняти два стратегічні рішення: атакувати лідера у боротьбі за частку ринку або ж йти за лідером. Рішення атакувати лідера є досить ризикованим. Для його реалізації потрібні значні фінансові витрати, know – how, краще співвідношення «ціна-якість», переваги в системі розподілу і просування і т. д. У разі не реалізації цієї стратегії, компанія може бути відкинута на аутсайдерські позиції на досить довгий час. Тому реалізація цієї стратегії вимагає детального опрацювання по наступних напрямках: аналіз сильних і слабких сил своїх і фірми-лідера; виявлення можливих напрямів атаки; ревізія власних сил і ресурсів; аналіз можливих дій конкурентів і розробка методів захисту.

Таблиця 4.17

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Проект не є «першопрохідцем»	Компанія буде розвиватися та шукати нових споживачів	Ні, компанія не буде копіювати характеристики конкурентів	Стратегія виклику лідера

4.4.4 Стратегія позиціонування

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку.

Таблиця 4.18

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Зручність	Стратегія диференціації	Ергономічність	
2.	Швидкість руху	Стратегія спеціалізації	Оптимальна швидкість руху	
3.	Ціна	Стратегія диференціації	Порівняно низька ціна на ринку електрокарів	

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

4.5.1 Формування маркетингової концепції товару

В цій таблиці формуємо першочергові потреби та вигоди товару. Основною потребою є створення екологічного, екологічного компактного, функціонального автомобіля.

Таблиця 4.19

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Екологічний транспорт	Економія на екологічному ресурсі	Техніко-експлуатаційні характеристики

2.	Компактний транспорт	Компактність	
3.	Економічний транспорт	Дешевизна товару і експлуатації	
4.	Функціональний транспорт	Функціональність	

4.5.2 Трирівнева маркетингова модель товару

Ідея продукту у створенні доступного екологічного, економічного та ергономічного автомобіля, доступного цільовим групам споживачів. Його фізичними складовими є корпус, рама, система шасі та двигун. Особливостями процесу його надання є пакування та гарантійні строки обслуговування автомобіля.

Таблиця 4.20

Опис трьох рівнів моделей товару

Рівні товару	Сутність та складові		
1.Товар за задумом	Споживач потребує значних вигод у ціні та якості, вдовольняючи потреби у екологічному, економічному та ергономічному автомобілі.		
2.Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1.Економічні	Нм	Тл/Ор
	2.Технологічні	Нм	Тл/Ор
	3.Ергономічні	Нм	Тл/Ор
	4.Естетичні	Нм	Тл/Ор
	5.Транспортабельності	Нм	Тл/Ор
	6.Екологічні	Нм	Тл/Ор
	Якість: Загальні правила Shell Eco Marathon частина 1, стандарти, нормативи, параметри тестування тощо		
	Пакується у дерев'яну коробку з пінопластом всередині для фіксації продукту.		
	Марка: Організація-розробник “SET KPI”, назва продукту “ZEUS”.		
3.Товар із підкріпленням	До продажу - підкріплюється гарантією на 12 місяців Після продажу - обслуговується по гарантії на протязі 12 місяців		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: буде захищено патентом на корисну модель, назву, на окремі вузли автомобіля, емблему.			

4.5.3 Визначення цінових меж

Цінові межі вартості товару - від 13 599\$ до 18 999\$, що є приблизно однаковими для товарів аналогів, але дорожче за товари замітники.

Таблиця 4.21

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналогів	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	Товари замітники дешевше за ціною, але дорожче в експлуатації	Ціни є приблизно однакові	Рентабельність близько 7-13%	Ціна на товар мінімальна - 13 599\$; максимальна - 18 999\$

Визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення

4.5.4 Визначення оптимальної системи збуту

Виконуючи такі функції збуту, як транспортування та зберігання товару, є доречним залучити сторонніх посередників (залучена система збуту). Ринок збуту включає в себе як і «e-commerce» так і окремі продовольчі точки, що дозволить отримати глибокий. Посередниками будуть вибрані компанії перевізники з арендованим місцем зберігання (склад, ангар, приміщення під зберігання).

Таблиця 4.22

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Споживачі товарів широкого призначення	Транспортування, зберігання	Ринок збуду розкиданий на великій території	Багатоканальний розподіл

4.5.5 Розроблення концепції маркетингових комунікацій

Для позиціонування товару, ключовою позицією вибрано нагадування, тобто регулярне ознайомлення споживача з товаром, будь-якими змінами у вигоді його придбання.

Таблиця 4.23

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для Позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Суворі техніко-експлуатаційні вимоги до товару на фоні різноманітності товарів-замінників	Інтернет - сайти, соціальні мережі, інтернет-магазини,	Нагадування	Поширити товар у маси	Реклама тільки через інтернет

Ринкова маркетингова програма товару:

Основною потребою цільових споживачів є створення доступного екологічного, екологічного компактного та функціонального автомобіля, що водночас є і ідеєю створення продукту. Його фізичними складовими є корпус, рама, система шасі та двигун.

Товар захищено за рахунок існуючого патенту на корисну модель, назву, на окремі вузли автомобіля, емблему.

Цінові межі вартості товару – від 13 599\$ до 18 999\$, що є приблизно однаковими для товарів аналогів, але дорожче за товари замінники. Такі межі приймаємо лише за попереднім аналізом ціноутворення. Якість складових автомобіля, їх виготовлення та збут, прямо відображають вартість товару. Виконуючи такі функції збуту, як транспортування та зберігання товару, є доречним залучити сторонніх посередників (залучена система збуту).

Ринок збуту включає в себе як і «e-commerce» так і окремі продовольчі точки, що дозволить отримати глибокий. Посередниками будуть вибрані

компанії перевізники з арендованим місцем зберігання (склад, ангар, приміщення під зберігання).

4.6 Висновки

- є можливість ринкової комерціалізації проекту, чи наявний попит, динаміка ринку росте;
- є перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, бар'єри входження, кількість конкурентів завжди росте, конкурентоспроможність проекту доволі висока;
- доцільно обрати олігополію для ринкової реалізації проекту;
- є доцільною подальша імплементація проекту.

Список використаної літератури

1. Drive2 [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу <https://www.drive2.ru/b/655138/> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
2. Український автосервіс [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу <http://ua-autoservice.blogspot.com/2011/07/blog-post.html> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
3. CarWow [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу <https://carwow.ru/iz-chego-delajut-kuzova-avtomobilej/> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
4. Колёса [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу <https://www.kolesa.ru/article/krylatyj-nastupaet-pochemu-kuzova-mashin-budushhego-budut-alyuminievymi-i-chem-eto-chrevato> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
5. ГОСТ 4784-97 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые
6. Туренко А.Н. Оценка напряженно-деформированного состояния несущих систем и элементов конструкции из современных материалов в спортивных автомобилях. Туренко А.Н., Клименко В.И., Ужва А.В., Ламла Т.Л., Савченко Є.Л., Сергиенко А.В., Лукашев И.В., Шаповаленко В.А. – Харьков. ХНАДУ 2016, 204 с.
7. Будівництво та ремонт [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу <http://vse-postroim.com/2006-sklovolokno-harakteristiki.html> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
8. Z Steklovolokno [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу <http://www.z-steklovolokno.ru/production.html> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
9. Shell Eco-marathon Europe 2017 Final results: UrbanConcept Battery-electric 26/09/2017 (дата звернення - 10.09.2018)

- 10.SolarCarSolution [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <http://solarcarsolutions.com/ylona2.php> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
- 11.TUfast ECO TEAM [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <http://tufast-eco.de/en/vehicles/muc017/> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
- 12.SolarCarSolution [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <https://www.e-fish.online/das-auto> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
- 13.ЭкоТехника [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <https://ecotechnica.com.ua/stati/291-tesla-model-s-luchshij-elektrokar-v-mire-kharakteristiki-foto-video.html> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
- 14.AUTOENTERPRISE [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <https://www.autoenterprise.com.ua/nissan-leaf/?lang=uk> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
- 15.Uniti [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <https://www.uniti.earth/product/> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
- 16.Shell [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <https://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon.html> (дата звернення 05.12.2018) – Назва з екрана
- 17.ГОСТ 30245-2003. Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций.
- 18.ГОСТ 18475-82. Трубы холодно деформируемые из алюминия и алюминиевых сплавов.
19. StudFiles [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <https://studfiles.net/preview/5257765/page:12/> «Распределение массы в теле человека» (дата звернення 05.12.2018) – Назва з екрана
- 20.AVTO BLOGGER [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <http://avto-blogger.ru/akb-avto/skolko-vesit-akkumulyator.html> (дата звернення 05.12.2018) – Назва з екрана

- 21.Пиндус Ю.І. методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни особливості то і ремонту спеціалізованого рухомого складу, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, - Тернопіль 2016, 56с.
- 22.Sopromat [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу <http://soprotmat.ru/dopusk.htm> (дата звернення 05.12.2018) – Назва з екрана
- 23.А.Н. Евграфов. Аэродинамика автомобиля. Учебн. пособие. -.М МГИУ- Москва, 2010, 356с.
- 24.Инженерный справочник [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу <https://www.dpva.ru/Guide/GuideTricks/PressureLoss/LambdaHydraulik/> (дата звернення 05.12.2018) – Назва з екрана
- 25.SolverBook [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу <http://ru.solverbook.com/spravochnik/koefficienty/koefficient-gidravlicheskogo-soprotivleniya/> (дата звернення 05.12.2018) – Назва з екрана
- 26.Wikipedia [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D1%8A%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D0%BB%D0%B0 (дата звернення 05.12.2018) – Назва з екрана
- 27.САПР аналитика [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу <https://sapr.ru/article/20602> (дата звернення 05.12.2018) – Назва з екрана
- 28.PLASTINFO [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу <https://plastinfo.ru/information/articles/177/> (дата звернення 05.12.2018) - Назва з екрана
- 29.KUZOVSPEC.RU [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу <http://kuzovspec.ru/remont/delaem-steklovolokonnyj-bamper/> (дата звернення 05.12.2018) - Назва з екрана
- 30.«Кисти и щетки малярные. Технические условия» ГОСТ 10597-87
- 31.«Валики малярные. Технические условия» ГОСТ 10831-87

- 32.Wikipedia [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу
[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BF%D0%B5%D0%BB%D1%8C_\(%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BF%D0%B5%D0%BB%D1%8C_(%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)) (дата звернення 05.12.2018) - Назва з екрана
- 33.Wikipedia [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%8F_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%B7%D0%B0%D1%81%D0%BE%D0%B1%D1%83 (дата звернення 05.12.2018) - Назва з екрана
- 34.Autodesk [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступу
<https://www.autodesk.ru/> (дата звернення 05.12.2018) - Назва з екрана
- 35.Dieter, George Ellwood. Engineering design. — 5th ed. / George E . Dieter, Linda C . Schmidt, New York, 2013, - 855p.
- 36.Geoffrey Boothroyd Product design for manufacture and assembly, third edition, - Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston Knight, - New York, 2011, 665p
- 37.Massimo Guiggiani The Science of vehicle dynamics Springer Science+Business Media Dordrecht 2014, 364p.
- 38.Carlo Vezzoli Design for environmental sustainability Life cycle Design of product, - Springer-Verlag London Ltd., part of Springer Nature 2018, 337p.

Додатки

Додаток А. Технологія виготовлення макету у ArtCAM

Виготовлення починається з імпорту готового дизайну STEP формату у програмне забезпечення ArtCam. Деталь проектувалась у Fusion 360 за допомогою модуля “Sculpt”. На рис. 3.4 зображено розподіл макету на 4 рівномірно розрізані деталі: 2 внутрішні та 2 зовнішні, через товщину заготовки, тому операції доводилося повторювати.

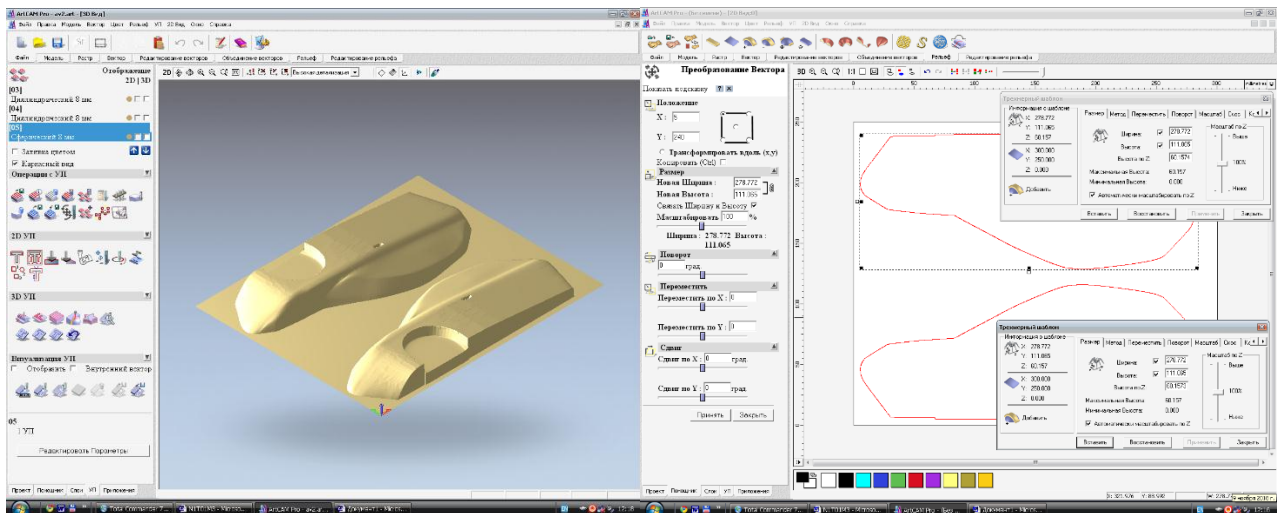


Рисунок А.1 – розташування зовнішніх частин на робочій площині

Після позиціонування деталей, задається механічна обробка та інструмент та підбираються режими різання.

При чорновому фрезеруванні 010 застосовувалася циліндрична кінцева фреза діаметром 8мм, характеристики якої були описані у розділі 3. Режими різання: крок - 4 мм, глибина за прохід – 4 мм, подача – 800 мм/хв, подача врізання – 200 мм/хв частота обертання – 15000 об/хв.

На цій операції фрезерується начорно контур заготовки

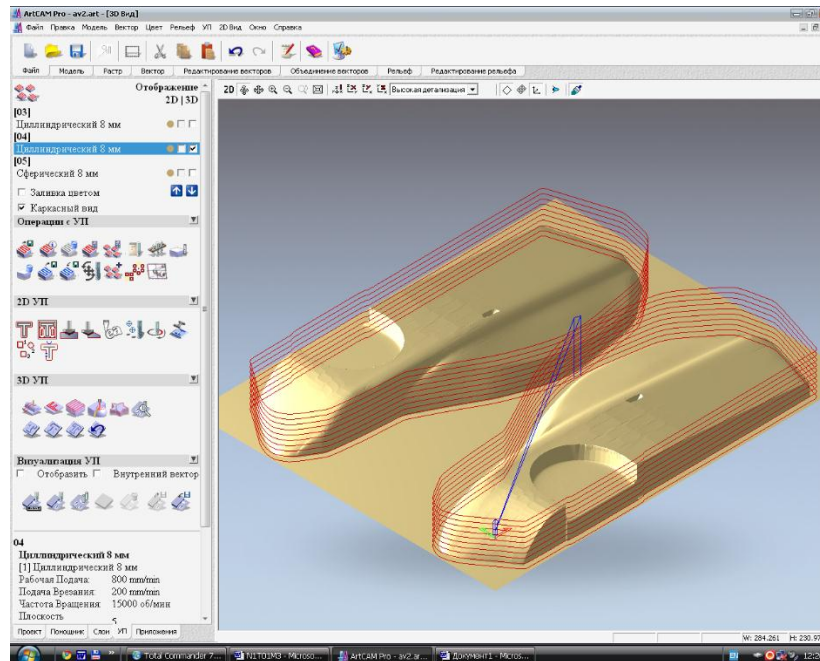


Рисунок А.2 – траєкторія руху інструменту при чорновій обробці контурів

При попередньому фрезеруванні рельєфу 015 застосовувалася циліндрична фреза діаметром 8мм, характеристики якої були описані у розділі 3. Режими різання: крок - 4 мм, глибина за прохід – 4 мм, подача – 800 мм/хв, подача врізання – 200 мм/хв частота обертання – 15000 об/хв.

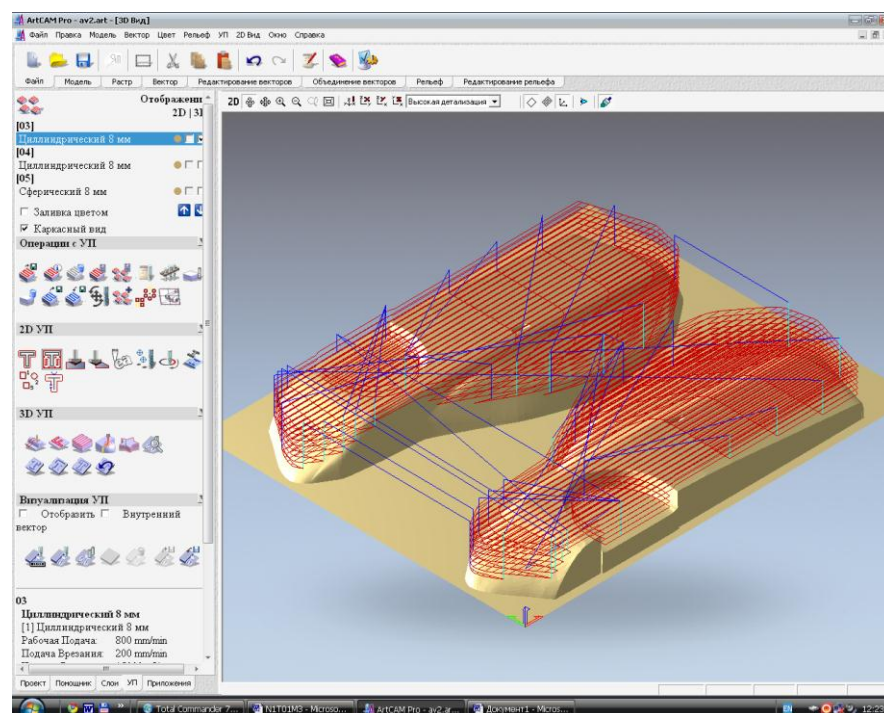


Рисунок А.3 – траєкторія руху інструменту при фрезеруванні рельєфу

При фрезеруванні рельєфу 020 застосовувалася сферична фреза діаметром 8мм, характеристики якої були описані у розділі 3. Режими різання: крок – 0,8 мм, глибина за прохід – 1 мм, подача – 1200 мм/хв, подача врізання – 800 мм/хв частота обертання – 18000 об/хв.

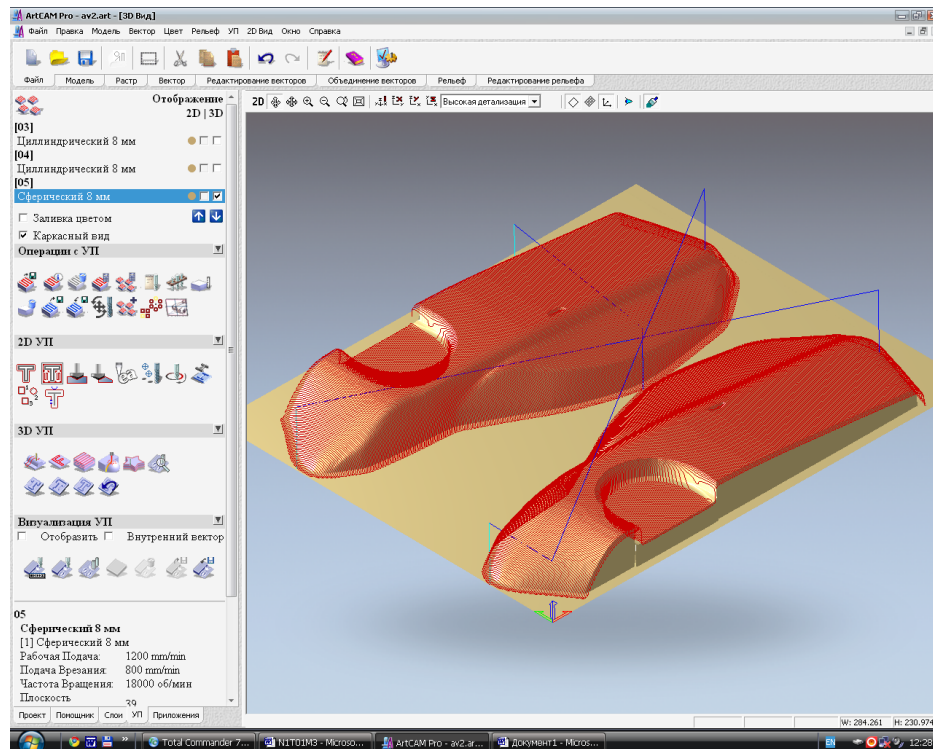


Рисунок А.4 – траєкторія руху інструменту при фрезеруванні рельєфу

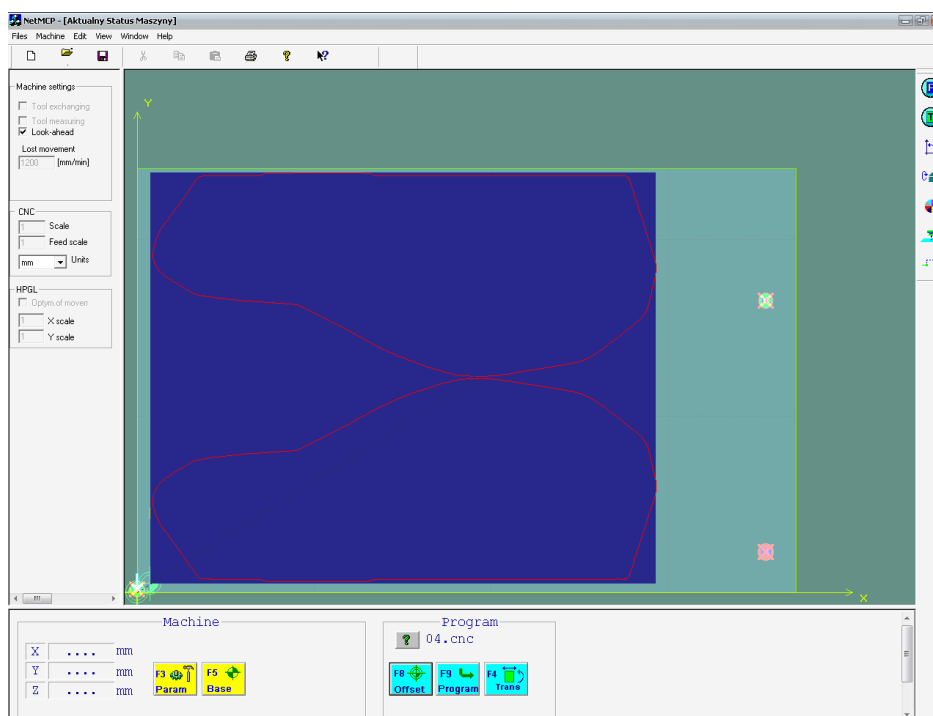


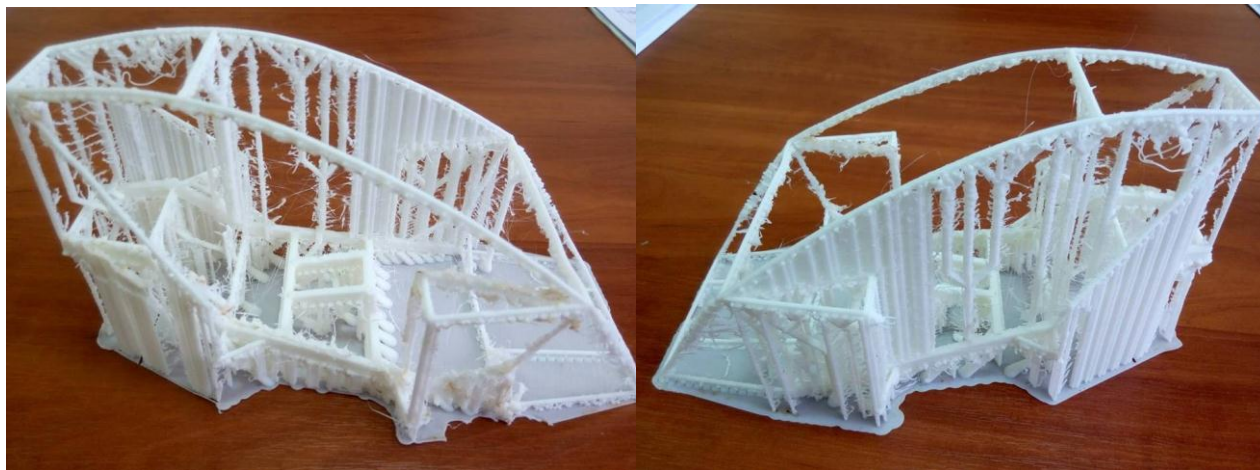
Рисунок А.5 – позиціонування деталі на робочій площині у робочій програмі

Фрагмент коду керуючої програми для верстату з ЧПК моделі FGS 3925 для оброблення деталі «Корпус автомобіля»

%%%%%%%%
N1T01M3	N6239X227.55Y110.70
N2G0X182.85Y117.49Z5.00	N6240X227.03Y110.78
N3G1Z-3.82F200.0	N6241X223.72Y111.32
G3X183.55Y117.42I183.55J121.02F800.0	N6242X222.30Y111.53
N5G1X188.20	N6243X218.11Y112.26
G3X188.90Y117.49I188.20J121.02	N6244X217.62Y112.34
G3X190.14Y117.56I189.21J123.05	N6245X214.49Y112.87
N8G1X190.57Y117.56	N6246X213.88Y112.97
G3X191.23Y117.63I190.53J121.16	N6247X211.87Y113.30
N10G1X191.63Y117.63	N6248X211.34Y113.38
N11X192.59Y117.70	G3X209.22Y113.72I204.21J75.92
N12X193.90Y117.83	N6250G1X205.91Y114.26
N13X195.35Y117.97	N6251X204.43Y114.48
N14X197.13Y118.18	N6252X202.58Y114.75
N15X198.30Y118.32	N6253X200.59Y115.03
N16X199.84Y118.53	N6254X198.68Y115.30
N17X200.77Y118.66	N6255X197.48Y115.44
N18X201.83Y118.80	N6256X195.77Y115.65
N19X203.74Y119.08	G3X195.00Y115.72I195.04J112.03
N20X205.11Y119.28	N6258G1X193.63Y115.86
N21X206.12Y119.43	G3X192.87Y115.93I192.92J112.23
N22X212.78Y120.51	G3X191.78Y115.99I192.03J111.15
N23X213.31Y120.59	G3X190.68Y116.06I190.93J111.22
N24X220.57Y121.83	G3X189.66Y116.13I189.87J111.53
N25X221.06Y121.91	G3X188.96Y116.20I188.96J112.60
N26X226.75Y122.84	N6264G1X187.12
N27X228.17Y123.06	N6265G0Z5.00
N28X231.00Y123.53	N6266G0X0.00Y0.00
N29X231.52Y123.61	N6267M5
N30X235.56Y124.29	N6268M30
N31X237.15Y124.58	%%%%

Додаток Б. Постобробка макету рами

Після 3D друку, отриману деталь необхідно звільнити від підтримок, та надати їй відповідний вигляд. Для цього, за допомогою паяльника, відділяємо грубі частини підтримок від каркасу, як зображено на рисунку Б.2. Опісля, обробляємо поверхні від загрубілого розплавленого пластику шліфуванням за допомогою дремеля.



а)

б)

Рисунок Б.1 а) оброблена від грубих підтримок сторона; б) необроблена сторона

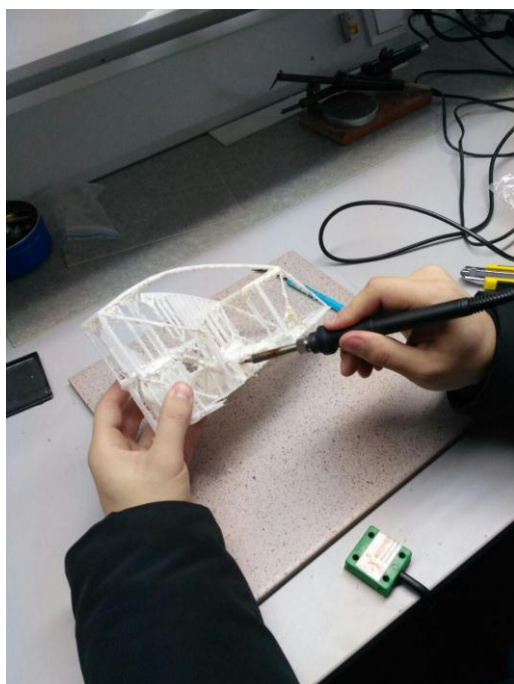


Рисунок Б.2 випаювання пластикових підтримок з деталі

Додаток В. Партнерська пропозиція

Для залучення інвесторів у проект “ZEUS”, необхідним елементом є партнерська пропозиція – презентація, що освітлює переваги та можливості проекту, у разі вкладення інвестором коштів. Так, представлені наступні слайди, що входять до партнерської пропозиції:

